

Computertomographische Anatomie des  
Schultergelenks mit Erfassung von  
Winkel-, Abstands-, Flächen-, subchondralen  
Dicken- und Dichtemessungen

**JUDITH MICHALIK**



**INAUGURAL-DISSERTATION** zur Erlangung des Grades eines **Dr. med. vet.**  
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2012

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1<sup>st</sup> Edition 2012

© 2012 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

**[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)**

Aus dem  
Klinikum Veterinärmedizin  
Klinik für Kleintiere, Chirurgie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Betreuer: Prof. Dr. Dr. h. c. M. Kramer

**Computertomographische Anatomie des  
Schultergelenks mit Erfassung von Winkel-,  
Abstands-, Flächen-, subchondralen  
Dicken- und Dichtemessungen**

**INAUGURAL-DISSERTATION**  
zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.  
beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**Judith Michalik**  
Tierärztin aus Koblenz

Gießen 2012

Mit Genehmigung des Fachbereiches Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität in Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h. c. M. Kramer

Gutachter: Prof. Dr. Dr. h. c. M. Kramer

Prof. Dr. Dr. S. Arnhold

Tag der Disputation: 06. Juni 2012

Elisabeth Steiner, Sybille Michalik und Marcel Härter  
gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>Anatomie des Schultergelenks</b>	<b>3</b>
2.1.1	Knochen des Schultergelenks	3
2.1.1.1	Schulterblatt, Skapula	3
2.1.1.2	Oberarmknochen, Humerus	6
2.1.2	Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße	8
2.1.2.1	Schultergelenk, Articulatio humeri	8
2.1.3	Eigenmuskulatur der Schultergliedmaße	10
2.1.3.1	Laterale Schultermuskeln	10
2.1.3.2	Mediale Schultermuskeln	12
2.1.4	Muskeln des Ellbogengelenks	14
<b>2.2</b>	<b>Biomechanik des Schultergelenks</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Erkrankungen des Schultergelenks</b>	<b>19</b>
2.3.1	Knorpel und Knochenwachstumsstörungen	19
2.3.1.1	Osteochondrose	19
2.3.2	Gelenkinstabilität	21
2.3.2.1	Glenoidale Dysplasie und kongenitale Luxation	21
2.3.2.2	Instabilität/Subluxation der Schulter	23
2.3.2.3	Traumatische Luxation	24
2.3.3	Systemische Gelenkerkrankungen	25
2.3.3.1	Osteoporose	25
<b>2.4</b>	<b>Grundlagen der Computertomographie</b>	<b>30</b>
2.4.1	Prinzip der Computertomographie	30
2.4.2	Aufbau des Computertomographen	30
2.4.3	Verbesserte Geräteeigenschaften	32
2.4.3.1	Spiral-CT	32
2.4.3.2	Multidetektor-CT	32
2.4.4	Funktioneller Ablauf	33
2.4.5	Bildbearbeitung und Bilddokumentation	34
2.4.6	Hounsfield-Einheiten	35
2.4.7	Artefakte	36
<b>2.5</b>	<b>Messungen an der Schulter</b>	<b>42</b>
2.5.1	Osteometrie	42
2.5.1.1	Messung der Version des Glenoids (Pfannenwinkel)	42
2.5.1.2	Messung der Schultergelenkspaltweite	44

2.5.1.3	Vermessung des Humeruskopfes und der Cavitas glenoidalis	44
2.5.2	Knochendichtemessung (Osteodensitometrie)	47
2.5.3	CT-Osteoabsorptiometrie	47
<b>3</b>	<b>Eigene Untersuchungen</b>	<b>49</b>
<b>3.1</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>49</b>
3.1.1	Material	49
3.1.2	Methoden	50
3.1.2.1	Vorbereitung	50
3.1.2.2	Anästhesie	50
3.1.2.3	Computertomographische Untersuchung	51
3.1.2.4	Befundung	56
3.1.2.5	Messvorgang	57
3.1.2.6	Bildbearbeitung	60
3.1.2.7	Die einzelnen Messungen	64
<b>3.2</b>	<b>Wiederholbarkeitsstudie</b>	<b>97</b>
<b>3.3</b>	<b>Statistische Auswertung</b>	<b>98</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Deskriptive Statistik</b>	<b>99</b>
4.1.1	Patientengut	99
4.1.2	Rasse und Geschlechtsverteilung	99
4.1.3	Gewichts und Altersverteilung	101
<b>4.2</b>	<b>Ergebnisse der einzelnen Messungen</b>	<b>103</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>148</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>148</b>
<b>5.2</b>	<b>Studiendesign</b>	<b>148</b>
<b>5.3</b>	<b>Material der Untersuchung</b>	<b>151</b>
5.3.1	CT-Untersuchung des Schultergelenks	151
<b>5.4</b>	<b>Methoden</b>	<b>152</b>
5.4.1	Anästhesie	152
5.4.2	Untersuchungsprotokolle	152
5.4.3	Lagerung	153
5.4.4	Messungen	154
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>176</b>
<b>7</b>	<b>Summary</b>	<b>179</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>182</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>192</b>

## Abkürzungsverzeichnis

3D	Dreidimensional
$\alpha$	Signifikanzniveau
AbstCav	kraniokaudaler Abstand der Cavitas glenoidalis
AbstSul	Abstand Sulcus intertubercularis
ant.	anterior
AR	area
AV	average
BMDP	Biomedical Package
BMDP1D	Biomedical Package - einfache Datenbeschreibung
BMDP2V	Biomedical Package – univariate mehrfaktorielle Varianz- und Kovarianzanalysen
BMDP4F	Biomedical Package – mehrdimensionale Kontingenztabellenanalyse
BMDP6D	Biomedical Package - bivariate Plots
Bsp.	Beispiel
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
Cavcran/med/caud	Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens der Cavitas glenoidalis (kranial/medial/caudal)
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie/Computertomograph
CT-OAM	Computertomographie-Osteoabsorptiometrie
D1m1/2	Dichte Humeruskopf
D2m1/2	Dichte Humerusepiphyse
D3m1/2	Dichte subchondraler Knochen Humeruskopf
D4m1/2	Dichte gelenknaher Anteil Skapula
D1P1/2	Flächenumfang Humeruskopf
D2P1/2	Flächenumfang Humerusepiphyse
D3P1/2	Flächenumfang subchondraler Knochen Humeruskopf
D4P1/2	Flächenumfang gelenknaher Anteil Skapula



D	Filter Detail
deg	degree
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
DSH	Deutscher Schäferhund
DXA	Dual energy X-ray absorptiometry
ED	Ellbogengelenksdysplasie
engl.	englisch
etc.	et cetera
FLHumkop	Fläche Humeruskopf
FIHmfug	Fläche Humerusepiphyse
FISkap	Fläche gelenknaher Anteil der Skapula
FIsch	Fläche subchondraler Knochen Humeruskopf
FOV	Field of View
Gcran/med/caud	Schultergelenkspaltweite (kranial/medial/kaudal)
ggf.	gegebenenfalls
GoldRetr	Golden Retriever
HD	Hüftgelenksdysplasie
HE	Hounsfield-Einheit
HU	Hounsfield-Units
Hukcran/med/caud	Dickenmessung Dichtemaxima subchondraler Knochen (kranial/medial/kaudal)
$I_0$	Intensität des einfallenden Strahls
I	Intensität des ausfallenden Strahls
i.v.	intravenös
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
kV	Kilovolt
LabrRetr	Labrador Retriever
LaengCv	Länge Cavitas glenoidalis
Lhumkop	Länge Humeruskopf
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Liggamenti
m	Meter
M.	Musculus

## Abkürzungsverzeichnis

---

mA	Milliampere
mAs	Milliamperesekunden
max	Maximum
mg	Milligramm
min	Minimum
ml	Milliliter
mm	Millimeter
mm <sup>2</sup> / mm sq	Quadratmillimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
mSv	Millisievert
MW	Mittelwert
N.	Nervus
OCD	Osteochondrosis dissecans
p	Wahrscheinlichkeit
Pfwinkel	Pfannenwinkel
Pixel	picture element
Proc.	Processus
R	Auflösung (mm/pixel)
ROI	Region of Interest
SD	Standard deviation
sec	Sekunden
SP	special filters
TiefCav	Tiefe Cavitas glenoidalis
TiefSul	Tiefe Suclus intertubercularis
Voxel	volumetric pixel
WHO	World Health Organization
Winkelsch	Schultergelenkwinkel
WL	window level
WW	window width
X <sup>2</sup>	Prüfgröße Pearson Chi-Quadrat-Test
z.B.	zum Beispiel
µm	Mikrometer
	Absorptionskoeffizient

## 1 Einleitung

Erkrankungen der Schulter sind häufige Ursachen für Lahmheiten der Vordergliedmaßen (Kunkel und Rochat, 2008; McKee und Macias, 2011). Während bei jungen Hunden die Osteochondrose häufig eine Vorderhandlahmheit verursacht, treten bei erwachsenen Tieren eher Bänder- und Sehnenrisse auf. Frakturen und Luxationen des Schultergelenks kommen insgesamt nur selten vor. Sowohl die Osteochondrose, wie auch Pathologien von Bändern- und Sehnen im Bereich der Schulter finden sich vor allem bei mittleren- bis großen Hunderassen, allen voran der Labrador Retriever (LaFond et al., 2002; McKee und Macias, 2011).

Selbst nach einer klinischen Lokalisation einer Erkrankung auf das Schultergelenk, kann es schwierig sein eine definitive Diagnose allein radiologisch zu stellen. Hinzu kommt, dass viele Erkrankungen des Weichteilgewebes der Schulter nicht mittels Röntgen erfasst werden können. Der Einsatz von weiterführenden bildgebenden Verfahren wie Arthroskopie, Ultraschall, Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) können hier weiterhelfen (Kunkel und Rochat, 2008). Die Vorteile der Computertomographie bestehen in der schnellen, sowie kontrastreichen und detaillierten Erfassung der knöchernen Verhältnisse des Schultergelenkes (Linsenmaier et al., 2003; Gielen und van Bree, 2004; Karabork et al., 2009). Weiterhin liefert die Computertomographie eine überlagerungsfreie Darstellung des Gelenks ohne dabei invasiv zu sein (Hecht und Morandi, 2008). In der Humanmedizin haben sich die Schnittbildverfahren CT und MRT den anderen Verfahren zur Diagnostik von Pathologien des Labrums und von Läsionen, die mit einer Schulterinstabilität einhergehen als überlegen erwiesen (Hendrickx und Krahn-Peters, 2001; Cook et al., 2005). Auch in der Veterinärmedizin gewinnen diese weiterführenden Schnittbildverfahren immer mehr an Bedeutung (Sonntag und Mihaljević, 2009).

In der vorliegenden Arbeit soll mit Hilfe der Computertomographie die Anatomie des Schultergelenks beim Deutschen Schäferhund, Labrador Retriever und Golden Retriever anhand von Winkel-, Flächen-, Abstands-, Flächenumfangs-, Längen- und Dichtemessungen sowie Dickenmessungen von subchondralen Dichtemaxima exakt

erfasst werden. Es sollen standardisierte Messmethoden erarbeitet werden, um Normalverhältnisse am Schultergelenk des Hundes zu definieren.

Die Fragen nach den Unterschieden in der Rasse, dem Geschlecht, dem Alter und dem Gewicht in Abhängigkeit zu den osteometrischen Parametern wird durch statistische Untersuchungen abgeklärt.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Anatomie des Schultergelenks**

#### **2.1.1 Knochen des Schultergelenks**

Das Schultergelenk wird von zwei Knochen gebildet: dem Schulterblatt (Skapula) und dem Oberarmbein (Humerus).

##### **2.1.1.1 Schulterblatt, Skapula**

Zusammen mit dem Rabenschnabelbein (Os coracoideum) und dem Schlüsselbein (Clavicula) gehört das Schulterblatt (Skapula) zum Schultergürtel (Cingulum membri). Beim Haussäugetier hat sich das Rabenschnabelbein zum Rabenschnabelfortsatz (Processus coracoideus) des Schulterblatts weitgehend zurückgebildet, der als kleine Warze undeutlich am Tuberculum supraglenoidale in Erscheinung tritt (Budras et al., 1996; Nickel et al., 2001).

Das Schulterblatt fügt sich bei kranioventraler Ausrichtung seiner Längsachse, bilateral dem kranialen Thoraxbereich als unregelmäßig, dreiseitig, platter Knochen in die bindegewebig-muskulöse Verbindung ein (König und Liebich, 1999). Allein durch Muskeln und nicht gelenkig wird das Schulterblatt mit dem Rumpf verbunden (Evans, 1993).

Der zur Wirbelsäule weisende Rand (Margo dorsalis) der Skapula befindet sich proximal und trägt den schmalen Schulterblattknorpel (Cartilago scapulae) (König und Liebich, 1999) (Abbildung 1).

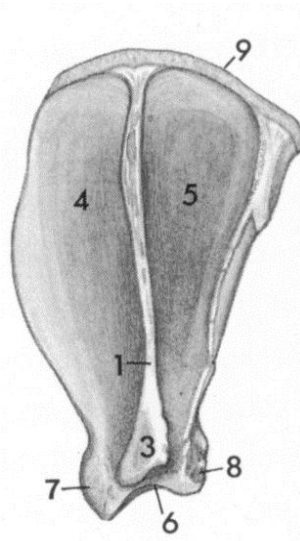


Abbildung 1: (nach Nickel et al., 2001): Linke Skapula des Hundes. Lateralansicht (1 = Spina scapulae, 3 = Akromion bzw. Proc. hamatus, 4 = Fossa supraspinata, 5 = Fossa infraspinata, 6 = Cavitas glenoidalis, 7 = Tuberculum supraglenoidale, 8 = Tuberculum infraglenoidale, 9 = Cartilago scapulae)

Es gibt weiterhin einen scharfen Halsrand (Margo cranialis) der distal über einen kurzen Bereich eine Einziehung (Incisura scapulae) besitzt und einen fast geradlinig verlaufenden Kaudal- oder Achselrand (Margo caudalis) (Budras et al., 1996; Nickel et al., 2001). Der Halsrand bildet zusammen mit dem wirbelseitigen Rand den Nackenwinkel (Angulus cranialis). Die distal konvergierenden Hals- und Achselränder bilden den Gelenkwinkel (Angulus ventralis), wo die flachovale Gelenkpfanne (Cavitas glenoidalis) ausgebildet wird (Budras et al., 1996; Nickel et al., 2001). Klinisch ist der ventrale Gelenkwinkel der wichtigste Winkel am Schulterblatt, da er die Gelenkpfanne beinhaltet, die mit dem Humeruskopf artikuliert und mit ihm das Schultergelenk (Articulatio humeri) bildet (Evans, 1993; Evans und de Lahunta, 2010). Der hintere Rückenwinkel (Angulus caudalis) wird durch den wirbelseitigen Rand und den Achselrand gebildet (Nickel et al., 2001).

Lateral am Schulterblatt befindet sich die Lateralfäche (Facies lateralis) mit markanten Knochenprofilen zur Anheftung der Muskulatur (König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001). Durch die Schulterblattgräte (Spina scapulae) wird die Lateralfäche in zwei Grätengruben unterteilt, die kleinere kraniale Fossa supraspinata und die größere kaudale Fossa infraspinata, die den gleichnamigen

Muskeln als Ursprungsflächen dienen. Die Schulterblattgräte (Spina scapulae) beginnt proximal niedrig an der Schulterblattbasis und nimmt nach distal an Höhe zu, behält dann weiter ihre Höhe bei, um dann in Schultergelenknähe mit dem Gräteneck (Akromion) steil abzufallen (Budras et al., 1996; König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001; Evans und de Lahunta, 2010). Das Akromion ist in Schultergelenkhöhe oder darüber hinausreichend hakenförmig zum Processus hamatus ausgezogen. Medial am Schulterblatt befindet sich die Rippenfläche (Facies costalis seu medialis) die sich ventral zu der sehr flachen Fossa subscapularis vertieft, an der der M. subscapularis ansetzt (Budras et al., 1996). Dorsal der Fossa subscapularis befindet sich die nur unregelmäßig ausgebildete und undeutlich abgesetzte Facies serrata, welche die Ansatzfläche des Musculus serratus ventralis bildet (Evans, 1993). Die Facies serrata wird von teilweise scharfen Knochenrändern eingefasst (König und Liebich, 1999) (Abbildung 2).

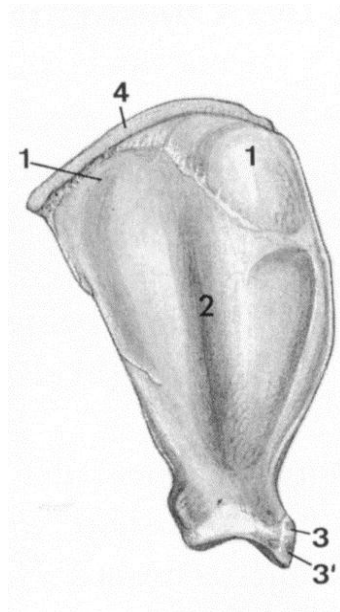


Abbildung 2: (nach Nickel et al., 2001): Linke Skapula des Hundes. Medialansicht (1 = Facies serrata, 2 = Fossa subscapularis, 3 = Tuberculum supraglenoidale, 3' = Processus coracoideus, 4 = Cartilago scapulae)

Im kraniodistalen Schulterblattbereich ist der Halsrand im Gebiet des Collum scapulae, der die proximale Platte vom distalen Gelenkende trennt, zur Incisura scapulae eingezogen. Am Schultergelenk ragt der Halsrand höckrig mit der Schulterblattbeule (Tuberculum supraglenoidale) verdickt hervor (Nickel et al., 2001).

Die Schulterblattbeule (Tuberculum supraglenoidale) erhebt sich im kranialen Bereich der Cavitas glenoidalis (Evans und de Lahunta, 2010). Medial an der Schulterblattbeule befindet sich der Rabenschnabelfortsatz (Processus coracoideus). Kaudodistal über der Gelenkpfanne befindet sich an dem dicken Achselrand das Tuberculum infraglenoidale (Nickel et al., 2001).

### **2.1.1.2 Oberarmknochen, Humerus**

Bei dem Oberarmknochen handelt es sich um einen Röhrenknochen, der aus einem proximalen und einem distalen Endstück (Extremitas proximalis beziehungsweise distalis) und einem dazwischen gelegenen Mittelstück (Diaphyse) besteht (Nickel et al., 2001). Der Oberarmknochen artikuliert proximal mit dem Schulterblatt im Schultergelenk und distal mit Speiche (Radius) und Elle (Ulna) im Ellbogengelenk (Evans, 1993).

Das proximale Endstück des Oberarmknochens weist kaudal den längsovalen Gelenkkopf (Caput humeri) auf, der als Gelenkerhöhung für das Schultergelenk eine nahezu kugelkappenförmige Gelenkwalze ausbildet. Der Oberarmkopf ist größer als die Gelenkpfanne des Schulterblatts mit der er artikuliert. Kaudal wird der Oberarmkopf deutlich durch das Collum humeri gegen den Körper abgesetzt. Kammförmige Fortsätze flankieren den Gelenkkopf des Humerus: kranio-lateral das Tuberculum majus und kranio-medial das niedrigere Tuberculum minus (König und Liebich, 1999).

Zwischen beiden liegt als deutliche Grenzfurche der Sulcus intertubercularis für den Durchtritt der Ursprungssehne des M. biceps brachii. Während das Tuberculum minus einheitlich ist, stellt sich das Tuberculum majus geringgradig zweigeteilt dar, mit einer Pars cranialis und einer Pars caudalis (Abbildung 3) (Nickel et al., 2001).



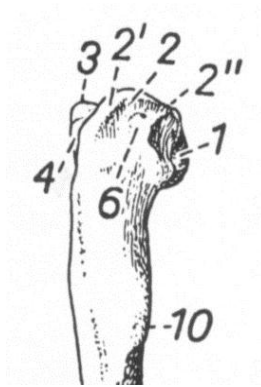


Abbildung 3: (nach Nickel et al., 2001): Linker proximaler Humerus des Hundes. Kraniolaterale Ansicht (1 = Caput humeri, 2 = Tuberculum majus, 2' = Pars cranialis, 2'' = Pars caudalis, 3 = Tuberculum minus, 4 = Sulcus intertubercularis, 6 = Facies musculi infraspinati, 10 = Tuberositas deltoidea)

Lateral und distal grenzt die Ansatzstelle des unteren Grätenmuskels (Facies musculi infraspinati) als flache Grube an das Tuberculum majus. Die stumpfe Crista tuberculi majoris lässt sich lateral vom kranialen Rand des Tuberculum majus auf die Kranialfläche des Schaftes verfolgen, wohingegen die Linea musculi tricipitis von der Kaudalkontur nach distal verläuft (Budras et al., 1996; Nickel et al., 2001). Zwischen dem Humeruskopf und dem Tuberculum majus sind zum Durchtritt von Venen mehrere kleine Foramina gelegen (Evans, 1993). Vom Tuberculum minus zieht die Crista tuberculi minoris nach distal, die sich bei größeren Hunden distal oft angeraut und verbreitert darstellt, um dann in die Crista supracondylaris lateralis überzugehen (Budras et al., 1996). Das Mittelstück (Diaphyse) des Humerus wird auch als Körper (Corpus humeri) oder Schaft bezeichnet und wird durch den breiten, spiralförmigen Sulcus musculi brachialis, der über die Lateralseite verläuft charakteristisch geformt. In der so gebildeten flächenhaften Einziehung lässt sich der M. brachialis zusammen mit dem Nervus radialis verfolgen. Im proximalen Bereich des Corpus humeri erhebt sich lateral der Armbeinhöcker (Tuberositas deltoidea) für die Insertion des M. deltoideus (König und Liebich, 1999).

Nach distal setzt sich der Armbeinhöcker bis zum Epicondylus medialis in der Armbeinleiste (Crista humeri) fort. Die Crista humeri sowie die Crista supracondylaris lateralis begrenzen die Armbeinmulde. Als Grenze zwischen dem Tuberculum majus und dem Gelenkkopf geht aus dem Armbeinhöcker proximokaudal die gebogene

Linea musculi tricipitis hervor mit der kranial benachbart liegenden Tuberositas teres minor zum Ansatz des M. teres minor (Nickel et al., 2001; Evans und de Lahunta, 2010) (Abbildung 4).

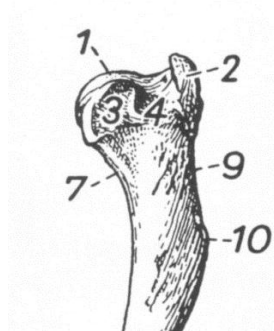


Abbildung 4: (nach Nickel et al., 2001): Linker proximaler Humerus des Hundes. Kraniomediale Ansicht (1 = Caput humeri, 2 = Tuberculum majus, 3 = Tuberculum minus, 4 = Sulcus intertubercularis, 7 = Crista tuberculi minoris, 9 proximal = Crista tuberculi majoris, 9 distal = Crista humeri, 10 = Tuberositas deltoidea)

## 2.1.2 Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße

### 2.1.2.1 Schultergelenk, Articulatio humeri

Beim Schultergelenk handelt es sich seiner Form nach um ein freies Kugelgelenk (Articulatio sphaeroidea), in dem der konvexe Humeruskopf mit der deutlich kleineren Gelenkpfanne der Skapula artikuliert (König und Liebich, 1999; Evans und de Lahunta, 2010). Das Schultergelenk bildet eine geräumige Gelenkkapsel (Capsula articularis) aus (Abbildung 5) (König und Liebich, 1999; Evans und de Lahunta, 2010).

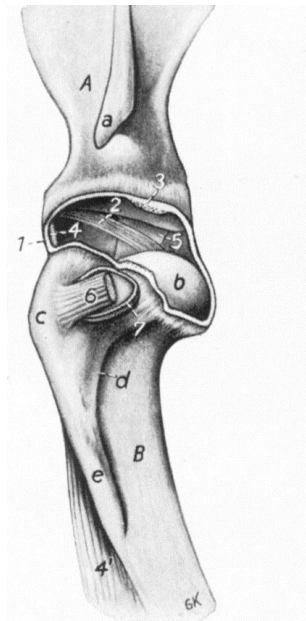


Abbildung 5: (nach Nickel et al., 2001): Linkes Schultergelenk des Hundes. Gelenkkapsel eröffnet, Gliedmaße in Streckstellung, proximodistal auseinandergezogen und nach lateral durchgedrückt. Lateralansicht (A = Skapula, B = Humerus, a = Akromion, b = Caput humeri, c = Tuberculum majus, d = Linea musculi tricipitis, e = Tuberositas deltoidea, 1 = Schnittrand der Capsula articularis, 2 = mediales, 3 = laterales Ligamentum glenohumerale, 4 = Ursprungssehne des 4' = M. biceps brachii, 5 = Endsehne des M. subscapularis, 6 = Endsehne des M. infraspinatus, 7 = deren Schleimbeutel, eröffnet)

Ein faserknorpeliger Saum, das Labrum glenoidale, vergrößert den freien Rand der knöchernen Cavitas glenoidalis (König und Liebich, 1999). Das Labrum glenoidale stellt die Verbindung zum glenoidalen Periost, dem Knochen, dem Gelenkknorpel, der Synovia und der Gelenkkapsel dar (Bardet, 1998). Durch kollagene und elastische Fasern (Liggamenti glenohumeralia) wird die weite Capsula articularis beim Hund in der medialen und lateralen Wand verstärkt (Nickel et al., 2001). Hierzu ziehen die medialen Ligg. glenohumeralia von der medialen Oberfläche des Tuberculum supraglenoidale durch das Schultergelenk, um an der Gelenkkapsel im Bereich des Übergangs vom Humerushals zum Tuberculum minus anzusetzen. Am Humerushals und im kaudalen Bereich des Tuberculum majus setzen die lateralen Ligg. glenohumeralia an, die vom lateralen Rand der Cavitas glenoidalis nach distal ziehen (Bardet, 1998). Die Ligg. glenohumeralia sind für die Stabilität des Gelenks

außerordentlich wichtig und dienen vor allem als „innere“ Kapselverstärkung (Vasseur et al., 1982; Budras et al., 1996).

Die Endsehne des M. subscapularis ist mit der medialen Wand der Gelenkkapsel verbunden. Die Sehne des M. biceps brachii wird zur Kapselsehnnenscheide (Vagina synovialis intertubercularis), indem sie sich von vorne in den Gelenksack des Schultergelenks einschiebt (Nickel et al., 2001). Dabei stülpt sie von kranial deren Synovialis - ein Mesotendineum ausziehend – ein. Mediale und laterale Muskeln mit ihren Endsehnen ersetzen die fehlenden seitlichen Gelenkbänder als sogenannte kontraktile Spannbänder (M. infraspinatus, M. subscapularis). Das mediale Seitenband wird durch die Endsehne des M. subscapularis und das laterale Seitenband wird durch die Sehne des M. infraspinatus, der von der lateralen Zacke des M. supraspinatus unterstützt wird, ersetzt (Nickel et al., 2001).

Diese Muskeln hemmen die Seitwärtsbewegungen fast vollständig, wodurch diese bei den Fleischfressern nur noch geringgradig möglich sind. Das Schultergelenk unserer Haussäugetiere funktioniert als Wechsel- oder Walzengelenk. Dies spiegelt sich auch in der Wölbung der Gelenkflächen wieder (Nickel et al., 2001).

### 2.1.3 Eigenmuskulatur der Schultergliedmaße

Die Muskeln des Schultergelenks haben alle ihren Ursprung am Schulterblatt, das sie lateral und medial vollständig umhüllen. Diese Muskeln enden im weiteren Verlauf überwiegend an der Innen- oder Außenfläche der proximalen Hälfte des Humerus (Nickel et al., 2001).

Man unterscheidet die lateralen und medialen Schultermuskeln (Nickel et al., 2001):

#### 2.1.3.1 Laterale Schultermuskeln

Der sehr kräftige, einschenklige **M. supraspinatus** (oberer Grätenmuskel) entspringt breitflächig an der Spina scapulae sowie in der Fossa supraspinata scapulae, überragt sie halbschalenförmig und inseriert einheitlich in einer kurzen, kräftigen Sehne kranial am freien Rand des Tuberculum majus humeri (Budras et al., 1996; König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001) (Abbildung 6).

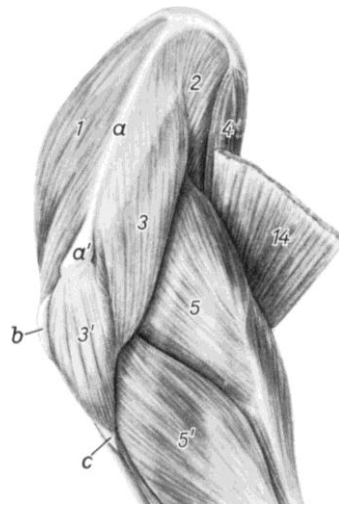


Abbildung 6: (nach Nickel et al., 2001): Muskeln der linken Schultergliedmaße des Hundes. Lateralansicht (1 = M. supraspinatus, 2 = M. infraspinatus, 3 = Pars scapularis, 3' = Pars acromialis des M. deltoideus, 4 = M. teres major, 5 = Caput longum, 5' = Caput laterale des M. triceps brachii, 14 = M. latissimus dorsi, a = Spina scapulae, a' = Akromion, b = Tuberculum majus, c = Tuberositas deltoidea)

Der M. supraspinatus wirkt als Fixator und Strecker des Schultergelenkes (König und Liebich, 1999).

Der ebenfalls kräftige, aber stark sehnig durchsetzte **M. infraspinatus** (unterer Grätenmuskel) liegt unter der Pars scapularis m. deltoidei und füllt die ganze Fossa infraspinata aus. Er zieht von der Fossa infraspinata und der Spina scapulae und endet mit einer starken Sehne, zum Teil aber auch muskulös, kaudal am Tuberculum majus humeri. In diesem Bereich wird er von der Bursa subtendinea m. infraspinati unterlagert (Budras et al., 1996; Nickel et al., 2001). Beim Hund stellt sich der M. infraspinatus besonders gefiedert dar, da eine starke Sehnenplatte seine kurze, kräftige Endsehne in ihm verankert. Der M. infraspinatus wirkt als kontraktiles Spannband, dessen Sehne die Rolle des lateralen Seitenbandes des Buggelenks übernimmt und die Beugung dieses Gelenks unterstützt (König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001). In beschränktem Ausmaß wirkt er vor allem beim Fleischfresser als Abduktor und Supinator des Humerus, kann aber auch eine Beugefunktion ausüben (Nickel et al., 2001).

Der platte, flächig ausgebreitete **M. deltoideus** (Deltamuskel) entspringt mit seiner Pars scapularis als schillernde, mit dem unter ihr liegenden M. infraspinatus verschmelzenden Aponeurose, an der Spina scapulae und geht distal vom Schultergelenk in eine am Akromion entspringende flache Sehne über, die medial unter die Pars acrominalis zieht. Beide Anteile enden an der Tuberositas deltoidea des Humerus (Nickel et al., 2001; Evans und de Lahunta, 2010). Der M. deltoideus verläuft direkt unter der Haut oder dem Schulterhautmuskel zwischen der Spina scapulae und der Tuberositas deltoidea. Zwischen der Pars acrominalis und der darunter liegenden Sehne des M. infraspinatus können beim Hund häufig Schleimbeutel gefunden werden (Nickel et al., 2001).

Der M. deltoideus wirkt als Beuger des Schultergelenkes, der sich aber auch an der Abduktion und Rotation der Gliedmaße beteiligen kann (Nickel et al., 2001).

Bei dem **M. teres minor** (kleiner runder Muskel) handelt es sich um einen kleinen, im Querschnitt rundlichen Muskel (Nickel et al., 2001). Seinen Ursprung hat er mit einer Aponeurose am distalen Drittel des Margo caudalis der Skapula sowie am Tuberculum infraglenoidale und liegt von dem M. deltoideus und M. infraspinatus bedeckt kaudolateral vom Schultergelenk. Als Ansatz dient die Tuberositas teres minor mit der Linea musculi tricipitis proximal der Tuberositas deltoidea (Nickel et al., 2001).

Der M. teres minor wirkt als Beuger des Schultergelenks (Evans, 1993; Nickel et al., 2001).

### 2.1.3.2 Mediale Schultermuskeln

Der **M. teres major** (großer runder Muskel) ist ein langer, fleischiger, bei keinem unserer Haussäugetiere im Querschnitt rundlicher, sondern abgeplatteter Muskel. Er entspringt am proximalen Kaudalrand der Skapula sowie des M. subscapularis und zieht über die Beugeseite des Schultergelenks zur Tuberositas teres major beziehungsweise Crista tuberculi minoris, wobei er sich mit der Endsehne des M. latissimus dorsi vereinigt (Budras et al., 1996; König und Liebich, 1999) (Abbildung 7).

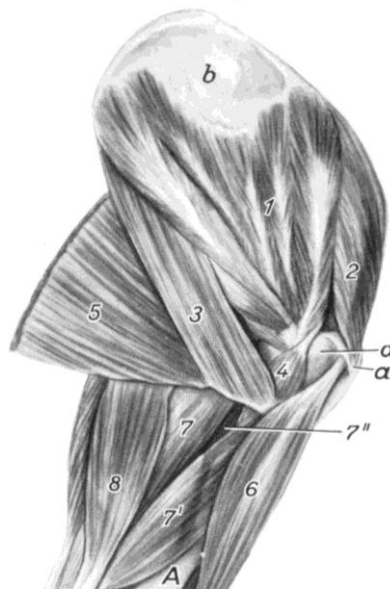


Abbildung 7: (nach Nickel et al., 2001): Muskeln der linken Schultergliedmaße des Hundes. Medialansicht (1 = M. subscapularis, 2 = M. supraspinatus, 3 = M. teres major, 4 = M. coracobrachialis, 5 = Stumpf des M. latissimus dorsi, 6 = M. biceps brachii, 7 = Caput longum, 7' = Caput mediale, 7'' = Caput accessorium des M. triceps brachii, 8 = M. tensor fasciae antebrachii, A = Humerus, a = Tuberculum minus, a' = Vorderkante des Tuberculum majus, b = Ansatzfläche des M. serratus ventralis)

Der M. teres major wirkt als Beuger des Schultergelenkes und kann sich auch geringgradig an der Adduktion der Gliedmaße beteiligen (Nickel et al., 2001).

Stark sehnig durchsetzt, übernimmt der **M. subscapularis** (Unterschultermuskel) die Rolle des medialen Seitenbandes des Schultergelenkes (Nickel et al., 2001). Der M. subscapularis stellt sich durch Sehnenplatten mehrfach gefiedert dar (König und Liebich, 1999).

Seinen Ursprung findet er an der ganzen Fossa subscapularis und überragt distal sowohl den achsel- als auch den halsseitigen Rand der Skapula und steht nach hinten mit dem M. teres major in Verbindung, um am Tuberculum minus zu enden (Budras et al., 1996). Der M. subscapularis ist von einer Eigenaponeurose überzogen, von welcher beim Hund vier bis sechs Sehnenplatten in die Muskelmasse einstrahlen, wodurch eine komplizierte Fiederung zustande kommt (König und Liebich, 1999).

Als kontraktiles Spannband übernimmt der M. subscapularis die Rolle des medialen Seitenbandes des Buggelenks. Weiterhin wirkt er vorwiegend als Strecker des Schultergelenks, der sich bei Beugstellung des Gelenkes aber auch als Beuger betätigen kann (König und Liebich, 1999).

Der platte kurze **M. coracobrachialis** (Rabenschnabel-Armmuskel) entspringt mit einer schmalen von einer Sehnenscheide umgebenen Sehne am Processus coracoideus des Schulterblatts und zieht in der Rinne der Subskapularis-Sehne eingebettet, schräg über die mediale Fläche des Schultergelenks. Im weiteren Verlauf verbreitert er sich fächerförmig, um dann an der kраниomedialen Seite des Humerus im Bereich der Crista tuberculi minoris zu enden. Der M. coracobrachialis wirkt als Einwärtsführer und Auswärtsdreher des Oberarms (König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001).

#### 2.1.4 Muskeln des Ellbogengelenks

Die Muskeln des Ellbogengelenks liegen meist am Humerus und finden auch ihren Ursprung am Humerus oder der Skapula. Diese Muskelgruppe überbrückt das Gelenk und inseriert am proximalen Ende von Radius und Ulna. Bei den Muskeln des Ellbogengelenks handelt es sich um ein- bzw. zweigelenkige Muskeln. Während der Standbeinphase trägt diese Muskelgruppe zur Stabilisation der Gliedmaße bei. Grundsätzlich dienen diese Muskeln der Streckung und Beugung des Ellbogengelenks (König und Liebich, 1999).

Der **M. brachialis** (Armmuskel) entspringt distal an der Hinterfläche des Caput humeri und zieht an der Crista tuberculi majoris entlang von der lateralen auf die vordere Seite des Humerus. Größtenteils wird der M. brachialis vom M. triceps brachii bedeckt, zieht dann allerdings über die Beuge des Ellbogengelenks lateral vom M. biceps brachii. Mit einem kleineren Anteil setzt der M. brachialis fleischig an dem zur Tuberositas radii verlaufenden Schenkel der Bicepssehne an, wohingegen er mit einem größeren Anteil seiner Sehne, die zwischen den beiden Endästen des Bizeps hindurchtritt, am Processus coronoideus medialis ulnae ansetzt (Nickel et al., 2001).



Der kräftige **M. biceps brachii** (zweiköpfiger Oberarmmuskel) beginnt mit seiner langen, starken Ursprungssehne am Tuberculum supraglenoidale um in einem Bogen über die Streckseite des Schultergelenks zur Vorderfläche des Humerus zu ziehen. Durch ein zwischen Tuberculum majus und minus ausgespanntes Querband wird die Sehne des M. biceps brachii im Sulcus intertubercularis in ihrer Lage gehalten. Der M. biceps brachii geht dann in einen muskulösen Bauch über, der erst der medialen und dann der Vorderfläche des Humerus aufliegt. Die Endsehne des M. biceps brachii spaltet sich in der Ellbogenbeuge in zwei Schenkel auf, von denen der stärkere Anteil am Proc. coronoideus medialis ulnae und der schwächere Anteil an der Tuberositas radii seinen Ansatz findet. Die Endsehne des M. brachialis tritt zwischen diesen beiden Schenkeln hindurch. Eine kräftige Sehnenplatte schiebt sich von der Endsehne her in das Muskelinnere, aus welcher distal ein zwischen M. extensor carpi radialis und M. pronator teres in die Fascia antebrachii ausstrahlender Sehnenzug hervorgeht (Nickel et al., 2001).

Der **M. triceps brachii** (dreiköpfiger Oberarmmuskel) zieht mit seinem Caput longum vom kaudalen Rand des Schulterblatts bis zum Olekranon (König und Liebich, 1999; Nickel et al., 2001). Die beiden anderen Muskelköpfe entspringen lateral und medial am Humerus und setzen am Ellbogenhöcker an (Nickel et al., 2001).

Der M. triceps brachii wirkt mit seinen drei Anteilen als Strecker des Ellbogengelenks (Nickel et al., 2001).

## 2.2 Biomechanik des Schultergelenks

Beim Schultergelenk des Hundes handelt es sich um ein sehr bewegliches Kugelgelenk, dass als Primärbewegung die Flexion und die Extension ausführt, allerdings zusätzlich befähigt ist die Adduktion, Abduktion, Zirkumduktion (Kreisbewegung) wie auch Rotation durchzuführen (Bardet, 1998; Reuter, 2000; Talcott und Vasseur, 2003; Kudnig, 2007). Beim Fleischfresser kann eine Beuge- und Streckbewegung bis zu 120° durchgeführt werden und eine Außenrotation ist bis zu 45° und eine Innenrotation bis zu 35° möglich. Weiterhin kann die Gliedmaße seitlich bis zu 60° abgespreizt werden (König und Liebich, 1999).

Im Gegensatz zum Menschen hat das Schultergelenk des vierfüßigen Tieres eine bedeutende gewichtstragende Funktion. Der kanine Humeruskopf artikuliert mit der kleineren Cavitas glenoidalis der Skapula, wobei das Flächenverhältnis beim Hund in einem Verhältnis von 3:1 steht. Die Kontaktfläche zwischen den beiden Knochen ändert sich allerdings je nach Bewegungszustand. So besteht bei einem gebeugten Gelenk eine Kontaktfläche des Humerus zur Skapula von 47%, während unter normalen gewichtstragenden Bedingungen eine Kontaktfläche von 62% vorliegt (Sager et al., 2009). Hierbei lässt sich feststellen, dass die gewichtstragenden Kräfte auf den mittleren bis kaudalen Bereich der Cavitas glenoidalis konzentriert sind (Kudnig, 2007).

Die Stabilität des Schultergelenks wird sowohl durch passive wie auch durch aktive Mechanismen gewährleistet (Gohlke, 2000; Kudnig, 2007; Cogar et al., 2008). Aktive Mechanismen benötigen Energie, wohingegen passive Mechanismen auch ohne Energieaufwand funktionieren (Bardet, 1998). Zu den passiven Mechanismen der Gelenkstabilität zählen die medialen und lateralen glenohumeralen Bänder, die Gelenkkapsel, die Konkavität des Gelenks, die durch den Gelenkknorpel und das Labrum glenoidale unterstützt wird, die Kongruenz des Gelenks, die Kompression zwischen den Gelenkoberflächen, und die begrenzte Menge an Synovia (weniger als 1ml), die durch Kohäsion/Adhäsion einen Beitrag zur Stabilität des Gelenkes gibt (Bardet, 1998; Gohlke, 2000; Kudnig, 2007; Cogar et al., 2008).

Die Konkavität des Schultergelenks schafft Gelenkstabilität, da sich der runde Humeruskopf in die konkav geformte Wölbung des Glenoids hineindrückt und somit

translationalen Kräften widerstehen kann (Warner et al., 1999; Doukas und Speer, 2001; Kunkel und Rochat, 2008; Halder, 2010).

Das Schultergelenk kann, solange es einen geschlossenen Spalt darstellt, der geringgradig Synovialflüssigkeit beinhaltet, nur schwer verschoben oder subluxiert werden. Geringgradige Verschiebungen des Humerskopfes gegenüber der Cavitas glenoidalis können durch Umverteilung der Synovia innerhalb des Gelenks ausgeglichen werden, wodurch eine uneinheitliche Weitung des Gelenkspalts entsteht. Bis zu einem gewissen Punkt, indem sich die gesamte Gelenkflüssigkeit mobilisiert hat, kann sich der Gelenkspalt weiten, ab diesem Punkt wird jeder weiteren Bewegung im Gelenk durch negativen Flüssigkeitsdruck innerhalb des Gelenks widerstanden (Bardet, 1998).

Der negative Flüssigkeitsdruck zieht die Kapsel einwärts auf den Gelenkspalt zu und führt zu einer Dehnung ihrer Fasern. Wenn der Spalt zwischen den Gelenkoberflächen sehr klein wird, verändert sich auch der Stabilisationsmechanismus (Bardet, 1998). Zu diesem Zeitpunkt treten visköse und intermolekulare Kräfte in Kraft, verhindern Flüssigkeitsbewegungen und bewirken ein kohäsives Band zwischen dem Glenoid und dem Humerus. Dieser Vorgang wird als „Adhäsions-Kohäsions Mechanismus“ bezeichnet (Bardet, 1998). Ähnlich dem Zustand von zwei feuchten Objektträgern, die man zusammendrückt und zwischen deren Oberflächen das Wasser durch Adhäsion festgehalten wird. Die beiden Objektträger können aufeinander verschoben werden, aber können aufgrund der durch das Wasser bewirkten Kohäsion nur schwer auseinander gezogen werden (Bardet, 1998; Gray et al., 2005). Durch den gleichen Mechanismus werden auch die Gelenkoberflächen durch Adhäsion/Kohäsion zusammen gehalten. Sowohl die geringgradige Gelenkfüllung wie auch Adhäsion/Kohäsion können durch Zunahme der intraartikulären Flüssigkeit zerstört oder reduziert werden (Bardet, 1998).

Der negative Flüssigkeitsdruck spielt beim Hund im Vergleich zum Menschen aufgrund der unterschiedlichen Belastung des Gelenks eine weniger deutliche Rolle, eine wichtigere Bedeutung hat der Stabilitätsfaktor Kompression (Sidaway et al., 2006).

Aktive Mechanismen die für eine Stabilität im Gelenk sorgen, beinhalten den M. biceps, M. subscapularis, M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor (beim Menschen die sogenannte Rotatorenmanschette), M. triceps brachii caput longum,

M. deltoideus, M. teres major und den M. coracobrachialis (Gray et al., 2005; Kudnig, 2007; Cogar et al, 2008).

Die Ansatzstellen dieser Muskeln befinden sich teilweise im Bereich der glenohumeralen Gelenkkapsel und Bänder, deren Spannung durch Kontraktion dieser Muskeln beeinflusst werden kann. Bei gemeinsamer Kontraktion pressen die aktiven Mechanismen den Humeruskopf in die Fossa glenoidalis und ermöglichen somit eine gefestigte skapulohumerale Verbindung (Kudnig, 2007).

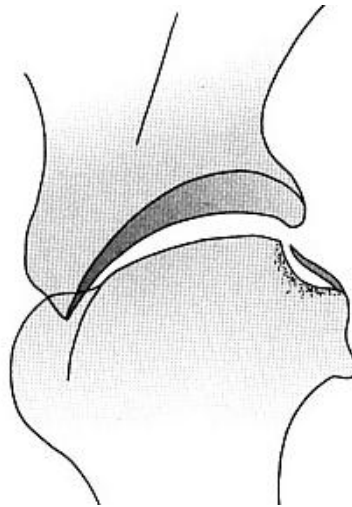
## **2.3 Erkrankungen des Schultergelenks**

Die Erkrankungen des Schultergelenks lassen sich einteilen in Erkrankungen, die vom Knochen und Knorpel, von Knochenwachstumsstörungen und Gelenkinstabilität ausgehen, sowie in Erkrankungen die von den Sehnen, Muskeln und der Synovia ausgehen. Diese Erkrankungen führen zu einer Lahmheit der Vordergliedmaße (Kunkel und Rochat, 2008). Im Folgenden soll auf ausgewählte Erkrankungen des Schultergelenks (Osteochondrose und Ursachen für Gelenkinstabilität sowie zusätzlich auf die Osteoporose) eingegangen werden.

### **2.3.1 Knorpel- und Knochenwachstumsstörungen**

#### **2.3.1.1 Osteochondrose**

Unter der Osteochondrose versteht man eine Störung der enchondralen Ossifikation bei der der Knorpel der Epiphyse keinen subchondralen Knochen ausbildet. Als Folge entsteht verdickter abnormaler Knorpel, der anfällig für Verletzungen ist (van Bree und Gielen, 2006; Kunkel und Rochat, 2008). Den Begriff Osteochondrosis dissecans (OCD) verwendet man, wenn sich eine Knorpelschuppe als Dissekat im Gelenk löst, was entzündliche Veränderungen des Gelenks zur Folge haben kann (Kunkel und Rochat, 2008). Meist verbleibt jedoch die Knochenschuppe in ihrem subchondralen Bett. Gelegentlich kann diese Knochenschuppe sich lösen und zu einer „Gelenkmaus“ werden, die sich frei im Gelenk bewegt (van Bree und Gielen, 2006). Beim Schultergelenk zeigt sich diese Dissekatbildung im kaudozentralen oder kaudomedialen Bereich des Humeruskopfes (Kunkel und Rochat, 2008) (Abbildung 8).



*Abbildung 8: (nach Dennis et al., 2010): Subchondraler Knochendefekt im kaudalen Humeruskopfbereich mit einer mineralisierten Knorpelschuppe und osteophytäre Ausziehungen kaudal am Humeruskopf*

Männliche Tiere sind im Vergleich zu weiblichen Tieren deutlich häufiger von der Osteochondrose betroffen (Morgan et al., 1999; Marcellin-Little et al., 2007). Die Osteochondrose betrifft überwiegend Rüden großwüchsiger Rassen, von denen 27% bis 68% bilaterale Läsionen im kaudalen Bereich des Humeruskopfes aufweisen (Lenahan et al., 1985; Marcellin-Little et al., 2007; Kunkel und Rochat, 2008). Klinische Symptome zeigen sich in der Regel im Alter von 4 bis 8 Monaten. Gelegentlich zeigen Hunde erst im mittleren Alter klinische Anzeichen der Erkrankung. Neben einer erblichen Prädisposition spielen auch andere Faktoren, wie die Ernährung (multifaktorielles Geschehen) bei der Entwicklung einer Osteochondrose eine Rolle (Lenahan et al., 1985; Lewis et al., 1990; Kunkel und Rochat, 2008). Die mit einer OCD assoziierte Lahmheit tritt in der Regel unilateral auf. Röntgenologisch zeigt sich im mediolateralen Strahlengang des Schultergelenks ein halbmondförmiger Aufhellungsbereich als subchondraler Knochendefekt im kaudalen Anteil des Caput humeri (Kunkel und Rochat, 2008) (Abbildung 9).



*Abbildung 9: Röntgenbild im mediolateralen Strahlengang der Schulter eines Hundes mit subchondralem Knochendefekt im kaudalen Bereich des Caput humeri, der sich als halbmondförmiger Aufhellungsbezirk darstellt*

## **2.3.2 Gelenkinstabilität**

### **2.3.2.1 Glenoidale Dysplasie und kongenitale Luxation**

Die Hypoplasie oder Dysplasie des Glenoids kann zu einer ungenügenden, abnormen Artikulation des Schultergelenks und somit zur Schultergelenksluxation führen. Gründe für diese abnorme Entwicklung sind nicht bekannt (Kunkel und Rochat, 2008). Kongenitale Luxationen werden in der Regel bei Hunden im Alter von 3 bis 8 Monaten diagnostiziert, die wegen rezidivierender Schulterlahmheit beim Tierarzt vorgestellt werden (Newton et al., 1985). Rasseprädispositionen für die kongenitale Luxation des Schultergelenks findet man beim Zwergpudel, Chihuahua, Zwergspitz, Collie, Mops, Pekinesen, Zwergpinscher, Lhasa Apso, Cavalier King Charles Spaniel, Sheltie, Norwegischen Elchhund und Dackel. Toy-Rassen scheinen besonders häufig von medialen Luxationen betroffen zu sein (Assheuer und Sager, 1997; Talcott und Vasseur, 2003; van Bree und Gielen, 2006; Kunkel und Rochat, 2008). Insgesamt kommen mit 80% überwiegend mediale Luxationen (Abbildung 10), in seltenen Fällen auch kraniale (Abbildung 11) und kaudale Luxationen vor

(Abbildung 12) (Talcott und Vasseur, 2003; Piermattei et al., 2006; Cogar et al., 2008; Kunkel und Rochat, 2008; McKee und Macias, 2011).

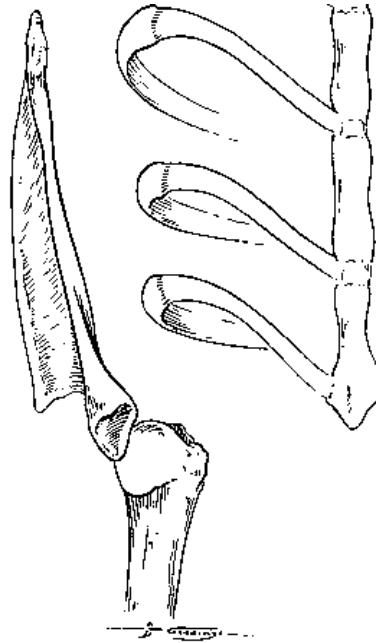


Abbildung 10: (nach Piermattei et al., 2006): Mediale Luxation der linken Schulter (ventrodorsale Ansicht)

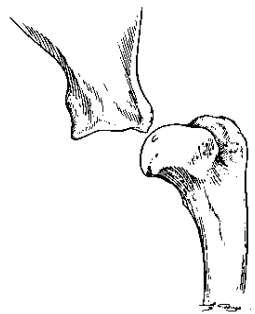
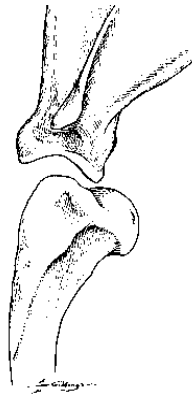


Abbildung 11: (nach Piermattei et al., 2006): Kraniale Luxation der linken Schulter (mediolaterale Ansicht)





*Abbildung 12: (nach Piermattei et al., 2006): Kaudale Luxation der linken Schulter (lateromediale Ansicht)*

Die Luxation kann uni- oder bilateral auftreten (van Bree und Gielen, 2006). Auf mediolateralen und kraniokaudalen Röntgenaufnahmen des Schultergelenks können Deformationen wie eine missgestaltete Cavitas glenoidalis und weniger häufig ein abgeflachter Humeruskopf dokumentiert werden (Kunkel und Rochat, 2008).

### **2.3.2.2 Instabilität/Subluxation der Schulter**

Eine Schulterinstabilität mit oder ohne Subluxation kommt unter anderem durch eine wiederholte Überbeanspruchung zustande. Schulterinstabilitäten oder Subluxationen werden teilweise als wichtigster Grund für Schulterlahmheit gesehen (Kunkel und Rochat, 2008). Die Pathophysiologie der Schulterinstabilität beim Hund ist noch nicht vollständig geklärt, aber verschiedenste Mechanismen werden in Anlehnung an die humanmedizinische Literatur in Betracht gezogen (Doukas und Speer, 2001; Kunkel und Rochat, 2008). Ein Mechanismus der Schulterinstabilität könnte durch eine Unterbrechung der „konkaven Kompression“ zustande kommen. Die Stabilität im Gelenk entsteht durch das konkav geformte Glenoid, in dessen Wölbung der runde Humeruskopf wie ein Ball hineingedrückt wird (Bardet et al., 1998; Warner et al., 1999; Kunkel und Rochat, 2008). Der Humeruskopf weist auf diese Weise eine größere Widerstandskraft gegenüber translationalen Kräften auf, denen er ohne das konkave Glenoid ausgesetzt wäre (Lippitt et al., 1993; Doukas und Speer, 2001; Kunkel und Rochat, 2008). Die Stabilität im Schultergelenk verbessert sich sowohl durch die Tiefe der Konkavität, was durch den Gelenkknorpel und das Labrum

glenoidale oder die glenohumeralen Ligamente gewährleistet wird. Die Stärke der kompressiven Kräfte, die den kugeligen Humeruskopf vor Ort fixieren, wird durch die Muskeln, die mit der Gelenkkapsel in Verbindung stehen, ermöglicht. Eine Instabilität kann durch eine Unterbrechung oder Abweichung von der Konkavität des Glenoids oder der kompressiven Kräfte, zustande kommen. Daher kann ein verkleinertes oder flaches Glenoid, ein Riss eines glenohumeralen Ligaments oder eine mangelnde Tiefe der Konkavität durch eine Verletzung oder infolge einer wiederholten und chronischen Abnutzung zu einer Instabilität führen (Bardet et al., 1998; Kunkel und Rochat, 2008).

Auch eine Zerstörung der skapulohumeralen Balance kann zu einer Instabilität im Schultergelenk führen. Die skapulohumerale Balance bezieht sich auf das Prinzip, dass das Glenoid den Humeruskopf balanciert, wenn die Netto-Gelenkreaktions-Kraft auf die Fossa glenoidalis und somit das Zentrum des Gelenks wirkt. Die Muskulatur, die direkt mit der Gelenkkapsel in Verbindung steht und die periskapuläre Muskulatur, unterstützen die kompressiven Kräfte quer durch das Gelenk in verschiedenen Positionen, so dass die Netto-Kraft innerhalb der stabilen Rundung des Glenoids verbleibt (Kunkel und Rochat, 2008).

Auch die kapsuloligamentöse Fixierung wendet eine Kraft auf den Humeruskopf an, um die Gelenkreaktionskraft zu normalisieren und die Stabilität des Gelenks aufrecht zu erhalten. Diese Kraft der kapsuloligamentösen Fixierung kommt in bestimmten Positionen, die mit ihrer Kraft gegen die stabile Rundung des Glenoids wirken zum Einsatz. Instabilität kann in diesem Fall durch dynamische Muskelimbalance, abnormale Glenoidposition (Version) oder Unterbrechung der kapsuloligamentösen Fixierung hervorgerufen werden (Kunkel und Rochat, 2008).

### **2.3.2.3 Traumatische Luxation**

Die traumatische Luxation des skapulohumeralen Gelenks tritt eher selten auf (Kunkel und Rochat, 2008). Ursächlich ist oft eine Ruptur der glenohumeralen Bänder zu finden (McKee und Macias, 2011). Genau wie bei den kongenitalen Luxationen, finden traumatische Luxation überwiegend nach medial statt (Kunkel und Rochat, 2008). Traumatisch bedingte laterale Luxationen (Abbildung 13) kommen dagegen gehäuft bei großwüchsigen Hunderassen vor (Assheuer und Sager, 1997;

Piermattei et al., 2006). Es bestehen keinerlei Rasse-, Alters- oder Geschlechtsprädisposition (Newton et al., 1985).

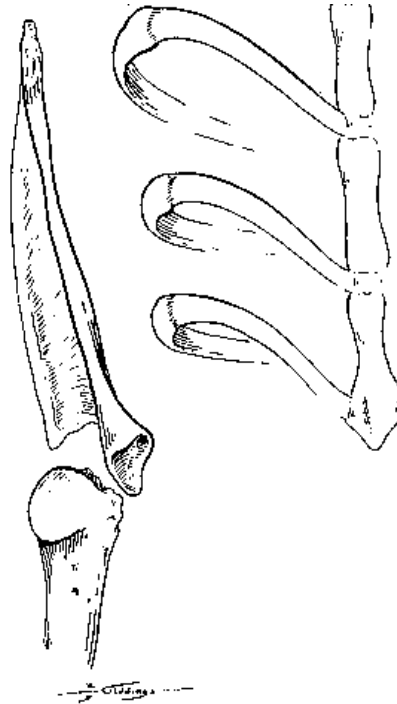


Abbildung 13: (nach Piermattei et al., 2006): Laterale Luxation der linken Schulter (ventrodorsale Ansicht)

### **2.3.3 Systemische Gelenkerkrankung**

#### **2.3.3.1 Osteoporose**

Bei der Osteoporose handelt es sich um einen unspezifischen Begriff, der sich auf einen Zustand bezieht, der durch einen quantitativen Verlust von Knochen charakterisiert wird (Fetter et al., 1985).

Die Osteoporose stellt eine systemische, progressive Knochenstoffwechselerkrankung dar, bei der es durch eine niedrige Knochenmasse und eine Störung der Mikroarchitektur des Knochengewebes zu einer erhöhten Knochenfragilität und somit zu einer Steigerung des Frakturrisikos kommt (Persigehl, 2003; Schmidt, 2005). Die hierdurch veränderte Knochenfestigkeit ist eine Größe, die die Knochendichte, wie auch die Knochenqualität widerspiegelt. Die Knochendichte

kann als Mineralgehalt in Gramm pro Fläche oder pro Volumen ausgedrückt werden. Die Knochenqualität umfasst Parameter der Knochenarchitektur, der Knochenumbaurate, des Ausmaßes der Knochenschädigung und der Mineralisation (Issever und Link, 2010). Bei der Osteoporose kommt es zu einer Reduktion der Knochenmasse, die sich in einer Ausdünnung der Kortex und einer reduzierten Anzahl und Durchmesser der Trabekel der Spongiosa äußert, wodurch der betroffene Knochen bei konstantem Knochenvolumen dünn, porös und zerbrechlich wird (Fetter et al., 1985). Durch eine erhöhte Knochenfragilität kommt es zu Spontanfrakturen oder Frakturen infolge von Bagateltraumen (Schmidt, 2005). Da sie in der Regel keine Schmerzen verursacht, verläuft die Osteoporose bis zum Auftreten einer Fraktur in der Regel asymptomatisch (Moyad et al., 2003; Schmidt, 2005).

Die Osteoporose wird durch eine Verringerung der Knochenneubildung („low turnover“) hervorgerufen. Physiologisch findet bis zum Erreichen der maximalen Knochenmasse ein Knochenaufbau („bone modelling“) mit einem Gleichgewicht zwischen Knochenmasse und Struktur statt. Im adulten Stadium geht dieser Prozess in eine ständigen Knochenauf- und -abbau („bone remodelling“) über. Bei den an diesen Knochenumbauprozessen beteiligten Zellen, handelt es sich vor allem um Osteoblasten, Osteoklasten, Endostzellen und Osteozyten. Osteoklasten resorbieren die Knochensubstanz und bilden hierfür eine Einfraßlakune, die „howship lacune“. Durch Mediatoren veranlasst, treten Osteoblasten mesenchymalen Ursprungs anstelle der Osteoklasten an die Oberfläche der „howship lacunen“ und sezernieren unmineralisiertes Osteoid. Im weiteren Verlauf bindet sich Hydroxylapatit an die Osteoidmatrix und verleiht dieser ihre Festigkeit. Im Wechselspiel mit Zellen, Hormonen, Zytokinen und Wachstumsfaktoren kann es durch Östrogenmangel zu einer erhöhten Knochenresorption („high turnover“) und im Gegensatz dazu durch exogene Kortisongabe oder Inaktivität zu einer Verringerung der Knochenneubildung („low turnover“) kommen, wodurch eine Osteoporose hervorgerufen wird (Persigehl, 2003).

Daher ist die Osteoporose als das Resultat einer Imbalance zwischen Knochenneubildung und Knochenresorption zu sehen (Fetter et al., 1985). Neben der Knochenmasse tragen auch die Qualität der Knochenmatrix und die Mikroarchitektur zur Stabilität des Knochens bei. Zu ca. 75% wird die Knochenmasse

von der Kortikalis gebildet. Osteoporose manifestiert sich vorwiegend in der Spongiosa, die einen etwa achtmal größeren Stoffwechselumsatz aufweist. Ein stab- und plattenartiges Trabekelwerk bildet den spongiösen Knochen. Insgesamt richtet sich die Mikroarchitektur der Trabekel nach den Spannungslinien mit den quervernetzenden Trabekeln. Im Knochen und zwischen den verschiedenen Knochen bestehen regionale Inhomogenitäten. Im Rahmen der Osteoporose entsteht vermehrt eine Anisotropie, eine Trabekelverschmälerung und eine Umwandlung von platten- zu stabartigen Trabekeln. Eine Perforation der Trabekel bewirkt eine Zunahme der "freien Enden" um ca. 37%. Einmal durchtrennte Trabekel von Osteoblasten können nicht wieder verknüpft werden („uncoupling“), weswegen die Perforation einen entscheidenden Faktor für die Abnahme der Stabilität des Knochens aber auch für die Therapie darstellt. Eine Perforation eines Trabekels kann durch „Killerosteoklasten“ hervorgerufen werden, die den Knochen resorbieren, was zu einer abnorm tiefen Lakune führt. Weiterhin können auch normal tiefe Resorptionslakunen in verschälerten Trabekeln zur Perforation führen. Auch eine gleichzeitig normal tiefe Resorptionslakune an gegenüberliegenden Seiten eines Trabekels kann zu Perforationen führen. Perforationen beginnen in den quervernetzenden Trabekeln und gehen mit einem geringem Knochenmasseverlust einher (Persigehl, 2003).

### **a.) Osteoporose beim Menschen**

Bei der Osteoporose handelt es sich prinzipiell um einen sekundären Prozess, dennoch wird in der Humanmedizin eine Differenzierung in primäre und sekundäre Osteoporose vorgenommen (Schmidt, 2005). Zur primären Osteoporose zählt man die alters- sowie eine hormonabhängige Osteoporose (beim Menschen durch ein Östrogendefizit oder durch einen niedrigen Testosteronspiegel) (Moyad et al., 2003; Schmidt, 2005). Obwohl die Osteoporose auch hier einen sekundären Prozess, zum einen in Bezug auf das Alter, zum anderen in Bezug auf die Gonadenfunktion darstellt. Das Alter schließt im Allgemeinen weitere Faktoren wie ein gesteigertes Sturzrisiko, ein geringeres Körpergewicht und langsamere Reflexe mit ein. 7- 20 % der Variationen der Knochenmasse werden durch das Körpergewicht erklärt, das somit einen wichtigen Faktor darstellt. Die Knochenmasse steht aber auch mit der

Körpergröße in Beziehung. Im Durchschnitt entwickeln 40 % der Frauen und 30 % der Männer in ihrem Leben eine osteoporotische Fraktur (Schmidt, 2005).

## **b.) Osteoporose beim Tier**

Die primäre Osteoporose wird lediglich beim Menschen beschrieben, bei Hund und Katze ist nur die sekundäre Osteoporose bekannt (Fetter et al., 1985; Newton und Biery, 1989). Die sekundäre Osteoporose entsteht infolge einer Reduktion der Knochenmasse beim primären Hyperparathyreodismus, ernährungsbedingten Hyperparathyreodismus, sekundären renalen Hyperparathyreodismus, Pseudohyperparathyreodismus, Hyperthyreodismus, Akromegalie, hepatischer Toxizität, Immobilisation einer Gliedmaße, lange anhaltender Tetraplegie, Multiplem Myelom, ausgelöst durch die Verabreichung von antikonvulsiven Medikamenten und beim Hyperadrenokortizismus (Fetter et al., 1985; Newton und Biery, 1989). Da die Reduktion der Knochenmasse allerdings nur sekundär zu primären Veränderungen gesehen wird, sollte der Begriff der sekundären Osteoporose bei Hund und Katze verwendet werden (Fetter et al., 1985). Während Protein- oder Kupfermangel sowie hormonelle Imbalancen (Östrogen, Nebennieren-, Schilddrüsen- und Hypophysenhormonen) eine Osteoporose durch die Abnahme der Knochenneubildung induzieren, kommt es im Rahmen von Erkrankungen des Mineralstoffwechsels, wie zum Beispiel beim Hyperparathyreodismus (Osteodystrophia fibrosa), Rachitis oder Osteomalazie zu einer exzessiven osteoklastischen Resorption oder zum Versagen der Mineralisation der organischen Matrix (Fetter et al., 1985).

Die Osteoporose infolge einer Inaktivität wird durch Immobilisation des betroffenen Knochens hervorgerufen, dies kann durch Gipsverbände oder Paralysen bewirkt werden. Durch das Einstellen der normalen Muskelaktivität um den Knochen, wird der Blutfluss durch den Knochen reduziert (Fetter et al., 1985).

Auch entsteht eine Osteoporose bei Hunden, bei denen eine Gastrektomie durchgeführt wird, was unter Umständen auf eine Beeinflussung der Kalziumabsorption und –retention zurückgeführt werden könnte (Bussabarger et al., 1937; Fetter et al., 1985). Weiterhin wird von der Osteoporose bei Hunden als Altersphänomen berichtet sowie bei Katzen, Hunden und Mäusen aufgrund einer

speziellen Fleischdiät (Rinderherz) (Fetter et al., 1985). Trotz mangelnder Beweise, dass eine Osteoporose durch eine ungenügende Kalziumaufnahme hervorgerufen werden kann, gibt es einen Hinweis, dass Kalzium-Phosphor Imbalancen zu einer Osteodystrophia fibrosa oder unter Umständen auch zu einer Osteoporose führen können (Fetter et al., 1985; Lewis et al., 1990).

Bei Hund und Katze kann die Diagnose der sekundären Osteoporose aufgrund von klinischen Symptomen, röntgenologischen Hinweisen und einer bestätigten Diagnose oder in Verbindung mit einer der Primärerkrankungen gestellt werden. Klinische Symptome beziehen sich auf Frakturen der langen Knochen und der Wirbel (Newton und Biery, 1989).

## 2.4 Grundlagen der Computertomographie

1971 wurde von Sir Godfrey Hounsfield der erste, für den medizinischen Einsatz geeignete Computertomograph (CT) entwickelt (Jury, 1999).

### 2.4.1 Prinzip der Computertomographie

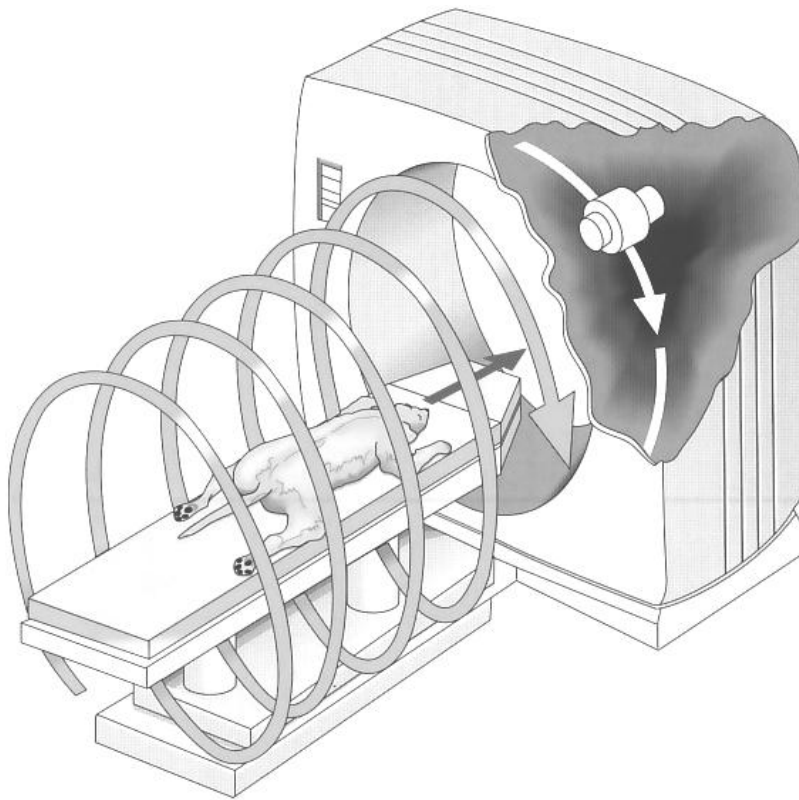
Basierend auf Röntgenstrahlen bietet die heutige CT-Technik eine überlagerungsfreie Darstellung von Strukturen, indem primär Transversalschichten und sekundär Sagittal- sowie Koronarschnitte durch den Körper angefertigt werden (Kreuzer und Našel, 2006; Sonntag und Mihaljević, 2009). Allgemein eignet sich die Computertomographie (CT) besonders für die Darstellung verkalkter oder knöcherner Strukturen (Caldemeyer und Buckwalter, 1999; Kreuzer und Našel, 2006). Für die Computertomographie wird eine relativ hohe Strahlendosis benötigt. Bei einer computertomographischen Untersuchung liegt die Effektivdosis bei ungefähr 3-12 mSv (Kreuzer und Našel, 2006).

### 2.4.2 Aufbau des Computertomographen

Ein CT-Gerät setzt sich aus einer rotierenden **Röntgenröhre**, und einem zu dieser komplementärem System aus mehreren hundert bis über tausend **Detektorelementen** zusammen, die zusammen in der **Gantry** (Abtasteinheit) positioniert sind (Kreuzer und Našel, 2006; Sonntag und Mihaljević, 2009).

Die Detektorelemente wandeln die absorbierten Röntgenstrahlen in sichtbares Licht um. Jedes Detektorelement besteht aus einem Festkörpermateriale (wie z.B. Cadmium-Wolframat, Gadoliniumoxid oder Gadolinium-Oxisulfid mit entsprechender Dosierung) das strahlenempfindlich ist (Flohr, 2008). Der Patient wird auf einer in horizontaler und vertikaler Richtung beweglichen **Patientenliege** (Couch) gelagert, die während der CT-Untersuchung durch die Gantry gefahren wird. Während der CT-Untersuchung drehen sich der Röntgenstrahler bzw. die komplementären Detektorsysteme in der Gantry um den Patienten (Sonntag und Mihaljević, 2009) (Abbildung 14).





*Abbildung 14: (nach Sonntag und Mihaljević, 2009): Der auf der Patientenliege gelagerte Patient wird durch die Gantry gefahren, während sich der Röntgenstrahler in der Gantry um den Patienten dreht (Spiral-CT)*

Den enormen Zentrifugalkräften, die hierbei entstehen, wird durch die Fixierung der Gantry auf einem speziellen Epoxidharzsockel entgegengewirkt. Ein **Röntgengenerator** ermöglicht dem Röntgenstrahler eine ausreichend hohe elektrische Spannung, um Röntgenaufnahmen im Bereich von 120 bis 300 kV anfertigen zu können. Als Nebenprodukt entsteht hierbei Wärme, weswegen eine Klimatisierung des Raumes, in dem der Röntgengenerator untergebracht ist, äußerst wichtig ist (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Als weitere Komponenten des CT fungiert die **Bedieneinheit** (Bedienpult und Bildschirm), die aus strahlenschutzrechtlichen Gründen durch eine röntgenstrahlenundurchlässige Bleiglasscheibe vom Untersuchungsraum, in dem der Patient gelagert wird, getrennt ist. Das Bedienpult ermöglicht die Untersuchungsregion festzulegen und die gesamte CT-Untersuchung zu steuern, wie auch weitere technische Untersuchungsparameter einzustellen (wie z.B. kV, mA, Filter, Pitch). Am Bildschirm können die angefertigten Aufnahmen im Anschluss an

die CT-Untersuchung bearbeitet und befundet werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Das **Rechnersystem** ermöglicht die Speicherung der Daten und Rekonstruktion von Bildern (Sonntag und Mihaljević, 2009). Bei der Rekonstruktion können aus aufeinanderfolgenden Schichten sogenannte sekundäre Schnitte in anderen Ebenen konstruiert werden. Auf diese Weise entstehen aus Querschnittsbildern sagittale und koronare Schnitte entlang der gewünschten Ebenen (Jury, 1999).

### **2.4.3 Verbesserte Geräteeigenschaften**

Eine Verbesserung der Geräteeigenschaften konnte durch die Entwicklung von Spiral- und Multidetektor-CT erreicht werden (Kreuzer und Našel, 2006; Sonntag und Mihaljević, 2009).

#### **2.4.3.1 Spiral-CT**

Beim Spiral-CT wird im Vergleich zu älteren Geräten nicht mehr Schicht für Schicht gemessen, sondern der Patient wird auf dem Untersuchungstisch in einer vorgegebenen Geschwindigkeit während einer kontinuierlichen Rotation der Röhren-Detektor-Einheit durch das Röhren-Detektor-System gefahren (Helikal-Scan-Technik) (Kreuzer und Našel, 2006; Sonntag und Mihaljević, 2009). Die Datenerfassung erfolgt auf diese Weise bei kontinuierlicher Rotation des Detektorringes und unter kontinuierlichem Vorschub des Patienten. Das von der Spiralbahn gemessene Volumen wird untersucht und aus dem so gewonnenen Datensatz können beliebig viele Schnittbilder oder 3D-Darstellungen errechnet werden. Vorteil des Spiral-CT ist, dass aus einem 3D-Datensatz beliebige Schichtpositionen ausgewählt und überlappend rekonstruiert, sowie multiplanare Rekonstruktionen bzw. 3D-Darstellungen errechnet werden können (Kreuzer und Našel, 2006).

#### **2.4.3.2 Multidetektor-CT**

Im Gegensatz zu Geräten älterer Generationen, besteht ein Multidetektor-CT nicht nur wie bisher aus einem einzigen Detektorring, sondern aus mehreren parallelen

Detektorzeilen. Auf diese Weise können mehrere parallele Detektorzeilen gleichzeitig ausgelesen werden, was eine Verringerung der Schichtdicke, Erhöhung der Untersuchungsregion und oft auch eine Verringerung der Untersuchungsdauer ermöglicht (Prokop et al., 2006).

Je nach Bauart hat dieser Multidetektor-CT mehrere Detektorringe, welche als Zeilen bezeichnet werden und somit namensgebend sind (Bsp. 4 Detektorringe – Vierzeiler). Somit können bei einer Rotation der Röhre mehrere (im Beispiel 4) Bilder erzeugt werden (Vierzeilendetektorgerät). Auch die Rotation ist schneller geworden und ermöglicht auf diese Weise eine noch kürzere Untersuchungsdauer. Auf diese Weise wird auch die Untersuchung großer Volumina möglich. Mit Hilfe der Multiarray (= Mehrzeilen) CT-Technik kann eine isotrope Voxelgröße (Voxel = dreidimensionaler Bildpunkt = Volumeneinheit) d.h. alle Voxelkanten sind gleich lang, erzielt werden. Auf diese Weise ist es möglich multiplanare Rekonstruktionen durchzuführen, ohne einen Qualitätsverlust im Vergleich zu den transversalen Schichten zu erleiden (Kreuzer und Našel, 2006).

#### **2.4.4 Funktioneller Ablauf**

Die Röhren-Detektorkombination rotiert auf einer Kreisbahn um den Patienten. Die Schichtdicke die pro Umlauf erfasst wird, kann innerhalb technischer Grenzen frei gewählt werden (Kreuzer und Našel, 2006). Es erfolgt eine Schwächung der Röntgenstrahlung im untersuchten Gewebe durch Absorption in Abhängigkeit von der Gewebedichte (Caldemeyer und Buckwalter, 1999; Laubenberger und Laubenberger, 1999).

Der Grad der Absorption der Röntgenstrahlung wird durch Detektoren kontinuierlich erfasst (Kreuzer und Našel, 2006). Hierzu werden die durch die von Detektoren in Licht umgewandelten Röntgenstrahlen von einer Si-Photoelektrode erfasst. Im Folgenden wird der entstehende elektrische Strom verstärkt und in ein digitales Signal umgewandelt (Flohr, 2008). Ein Computer rechnet die erhaltenen Absorptionsprofile im Anschluss in Graustufenbildern um (Prokop et al., 2006).

### **2.4.5 Bildbearbeitung und Bilddokumentation**

Nach Beendigung einer computertomographischen Untersuchung erhält der Untersucher den digitalen Rohdatensatz, der im DICOM-Modus („Digital Imaging and Communications in Medicine“) dokumentiert ist. Alle erhaltenen Bilder können mit Hilfe von voreingestellten Programmen automatisch oder manuell durch ein Rekonstruktionsprogramm bezüglich Kontrast und Helligkeit je nach zu beurteilendem Gewebe (Knochen oder Weichteil) an beliebigen Regionen nachbearbeitet (rekonstruiert) werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Die eigentliche Bildrekonstruktion beginnt mit der Definition des interessierenden Bildausschnittes („field of view“ oder FOV). Für die Rekonstruktion wird jeder Strahl, der von der Röhre zum Detektor durch den Bildausschnitt verläuft herangezogen. Zwischen 256x256 und 1024x1024 Bildpunkte (Pixel = picture element) ergeben zusammensetzt das CT-Bild, das aus einer quadratischen Bildmatrix besteht (Prokop et al., 2006). Die Auflösung des CT-Geräts steigt, je mehr Pixel die Matrix bilden (Sonntag und Mihaljević, 2009). Jede CT-Schicht besitzt eine definierte Dicke, wodurch jeder Bildpunkt einem Voxel entspricht (Prokop et al., 2006). Bei einem Pixel handelt es sich um die zweidimensionale Abbildung eines dreidimensionalen Gewebeareals, welches als Voxel bezeichnet wird (Ohlerth und Scharf, 2007; Sonntag und Mihaljević, 2009). Die Matrixgröße, der gewählte Bildausschnitt (field of view) und die Schichtdicke ergeben die Größe des Voxels (Prokop et al., 2006). Der konventionelle CT weist eine räumliche Auflösung im Millimeterbereich auf (Kreuzer und Našel, 2006). Im Rahmen der Bildauswertung ist es möglich eine „Region of Interest“ (ROI) festzulegen, hierzu kann mit der Maus auf dem Monitor ein beliebiges Bildfeld abgegrenzt und markiert werden. Innerhalb dieser ROI können Dichtewerte sowie Flächeninhalte berechnet werden. Eine weitere Bildbearbeitungsmethode stellt die Distanzmessung dar, die durch die Markierung eines Anfangs- und eines Endpunktes möglich ist. Mithilfe eines Histogramms ist es möglich die Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte innerhalb einer ROI in einer Kurve darzustellen (Jury, 1999).

#### **2.4.6 Hounsfield-Einheiten**

Jedes Gewebe besitzt einen spezifischen Dichtewert. Die Einheit wird nach Sir Godfrey Hounsfield, Hounsfield-Einheiten (HE) genannt (Kreuzer und Našel, 2006).

Dem Gewebe können in Abhängigkeit von den Gewebeeigenschaften, die eine Absorption oder Streuung und somit Abschwächung der Röntgenstrahlung bewirken, bestimmte Grauwertstufen zugeordnet werden. Für jedes Gewebe gibt es einen charakteristischen Abschwächungskoeffizienten. Röntgenstrahlen werden durch Strukturen, die dichter als Wasser (0 HE) sind, mehr abgeschwächt und weisen positive Hounsfield-Einheiten auf (Vollblut ca. 50 HE, parenchymatöse Organe ca. 30-80 HE, Knochenspongiosa bis 300 HE, Knochenkompakta bis 1000 HE). Negativ relativierte Schwächungswerte finden sich bei Fett und Luft, da diese die Röntgenstrahlung in geringerem Maß absorbieren. 4000 Graustufen können von den CT-Geräten erfasst werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Für die jeweilige Fragestellung besonders interessante Dichtebereiche innerhalb des für das menschliche Auge fassbaren Graustufenbereichs von ca. 64 Graustufen, können durch eine elektronische Fenstertechnik ermöglicht werden. Außerhalb dieses Fensters liegende Dichtebereiche werden als tiefes Grau (unteres Ende der Skala) oder weiß (oberes Ende der Skala) dargestellt. Mit Hilfe dieser Einstellungen können feine Dichteunterschiede im interessanten Spektrumsabschnitt besser sichtbar gemacht und uninteressante Informationen ausgeblendet werden (Kreuzer und Našel, 2006). Das sogenannte „Fenster“ definiert sich durch seine Weite (window width = WW = Fensterweite) und seine Lage (window level = WL = Fenstermitte). Die Fensterweite ist für den anatomischen Bildkontrast wichtig (enges Fenster – hoher Kontrast) (Prokop et al., 2006).

Es ist möglich eine Thoraxschicht durch die Veränderung der Fensterlage (center) zum Beispiel als Lungen-, Weichteil- oder Knochenbild darzustellen. Die Fensterlage ist allgemein für die Helligkeit des Bildes zuständig (hohe Lage – dunkles Bild) (Jury, 1999).

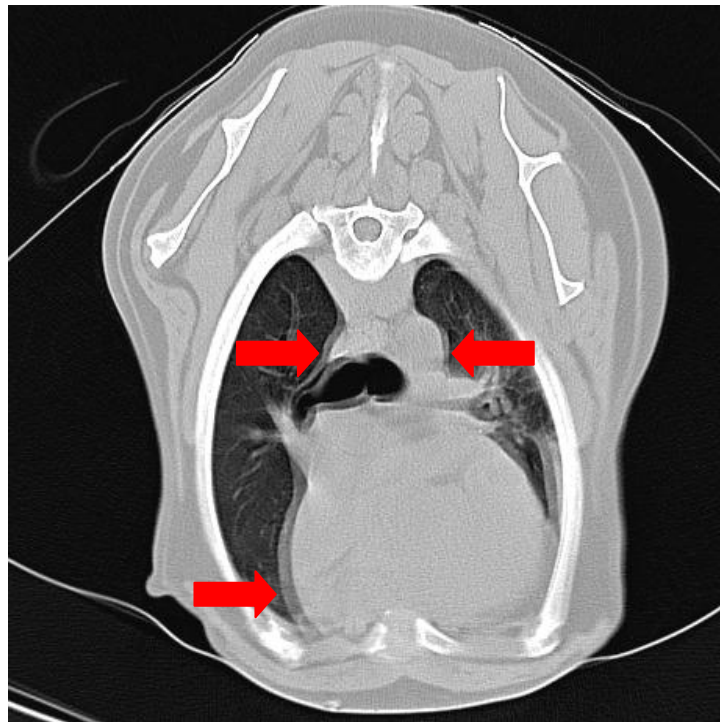
#### 2.4.7 Artefakte

Bei einem Artefakt (lat.: ars = Kunst, factum = gemacht) handelt es sich um den Anteil eines rekonstruierten CT-Bildes, der nicht den tatsächlichen im untersuchten Objekt vorhandenen Gegebenheiten entspricht (Grillenberger und Fritsch, 2007).

Man unterscheidet anhand der sie auslösenden Ursachen **patienten-**, **geräte-** und **physikalisch**-bedingte Artefakte (Grillenberger und Fritsch, 2007).

Unter **patientenbedingten** Artefakten versteht man sowohl Bewegungs-, Hochkontrast- als auch durch Messfeldüberschreitungen verursachte Artefakte (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Patientenbewegung sowie Organbewegungen können zur Inkonstanz der aus den unterschiedlichen Richtungen für die einzelnen Bildpunkte erfassten Aufnahmedaten und somit zu einer Störung des gesamten Bildes (Schlierenbildung) führen (Abbildung 15). Je schneller sich der Patient bewegt und je stärker die Absorptionsdifferenzen zur Umgebung sind, desto deutlicher wird dieses Artefakt (Hathcock und Stickle, 1993; Rauchpach und Flohr, 2008). Bewegungsartefakte können durch eine korrekte Lagerung, eine optimale Narkosetiefe oder durch kürzere Untersuchungszeiten gemindert werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).



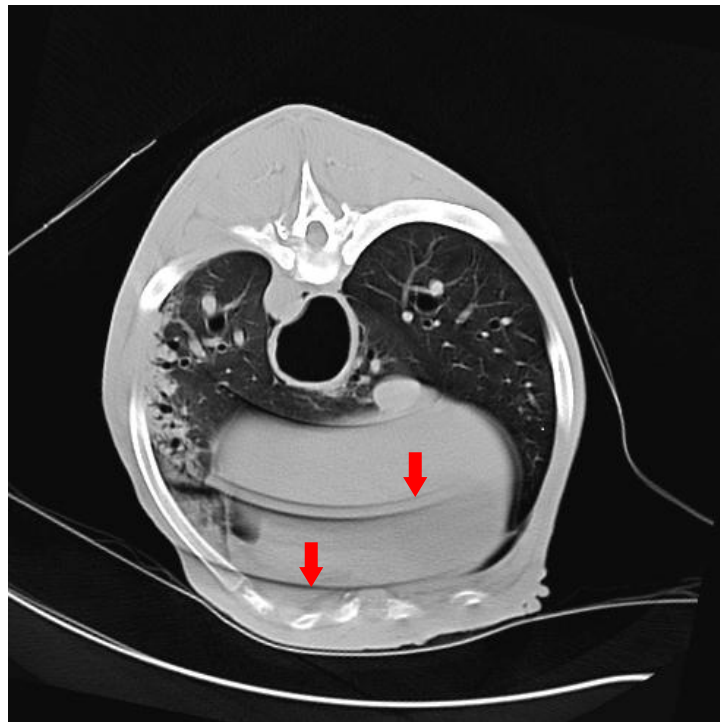
*Abbildung 15: Transversalschnitt im Lungenfenster durch den Thorax eines Dalmatiners auf Höhe des Herzens: Bewegungsartefakt (rote Pfeile) stellen sich als Doppelkontur der Organe dar*

Hochkontrastartefakte werden durch röntgendichte Materialien (Metallimplantate, Kontrastmittel) hervorgerufen und führen zu Bildstörungen, die von dem Objekt ausgehend strahlenförmig verlaufen. Hochkontrastartefakte können durch eine geeignete Schnittführung und die Wahl der höchsten kV-Stufen reduziert werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Streifenartefakte oder Aufhellungen in den Randbereichen als messfeldüberschreitungsbedingte Artefakte entstehen durch die Datenerfassung von Teilen des Patienten, die sich zwar in der Gantry, nicht aber im eigentlichen Messfeld befinden und daher nicht erfasst werden sollten (Grillenberger und Fritsch, 2007).

Die **gerätebedingten** Artefakte lassen sich weiter in Ring-, Linien-, Kanten-, und Overrange-Artefakte unterteilen (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Unter Ringartefakten versteht man konzentrische Kreise um das Bildzentrum, die ihre Ursache in einer Detektordejustierung oder auch –ausfällen haben (Abbildung 16) (Grillenberger und Fritsch, 2007).



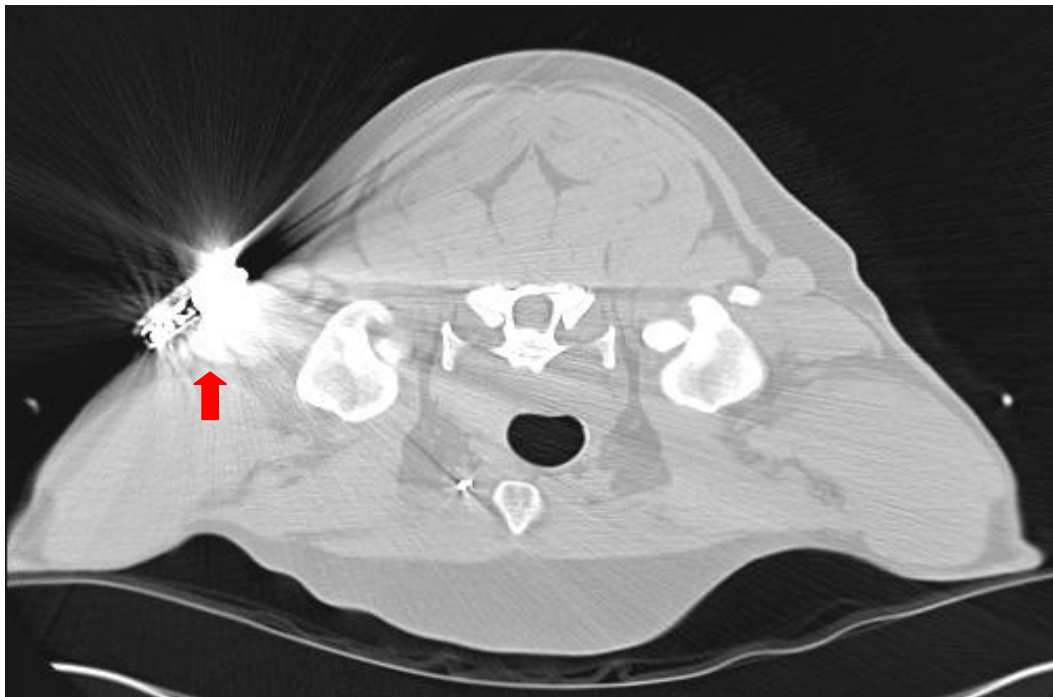
*Abbildung 16: Transversalschnitt im Lungenfenster durch den Thorax eines African Boerboel mit Megaösophagus: Ringartefakt (rote Pfeile)*

Durch einen Detektorausfall kommt es zu Linienartefakten, die aufgrund des Projektionsverlustes zu gerade durch das Bild ziehenden Linien führen. Bei benachbarten Organen mit hohen Kontrastdifferenzen kann es zu einer Signalüberhöhung kommen. In Folge der Signalüberhöhung kommt es zu Kantenartefaktbildung. Dieses Artefakt kann durch eine Änderung des Rekonstruktionsfilters behoben werden (Grillenberger und Fritsch, 2007; Sonntag und Mihaljević, 2009).

Zu Overrange-Artefakten kommt es in Folge einer Übersteuerung des Detektorsystems, die sich als flächige Dichteverchiebungen zeigen (Sonntag und Mihaljević, 2009).

Metallartefakte werden durch Projektile, Metallchips oder Implantate ausgelöst, und stellen sich als Streifenartefakte (high density streaking) dar (Hathcock und Stickle, 1993) (Abbildung 17).

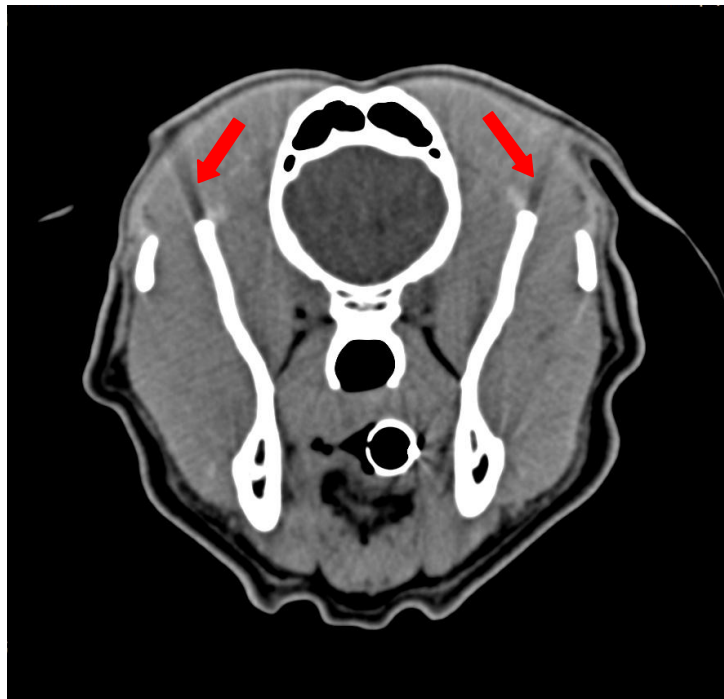




*Abbildung 17: Transversalschnitt im Lungenfenster auf Höhe des Brusteingangs eines Labrador Retrievers: Metallartefakte auf Höhe des Schultergelenks aufgrund eines Herzschrittmachers (roter Pfeil)*

Zu den **physikalisch** bedingten Artefakten die vom Messvorgang abhängig sind, zählen Teilvolumen- und Aufhärtungsartefakte (Sonntag und Mihaljević, 2009).

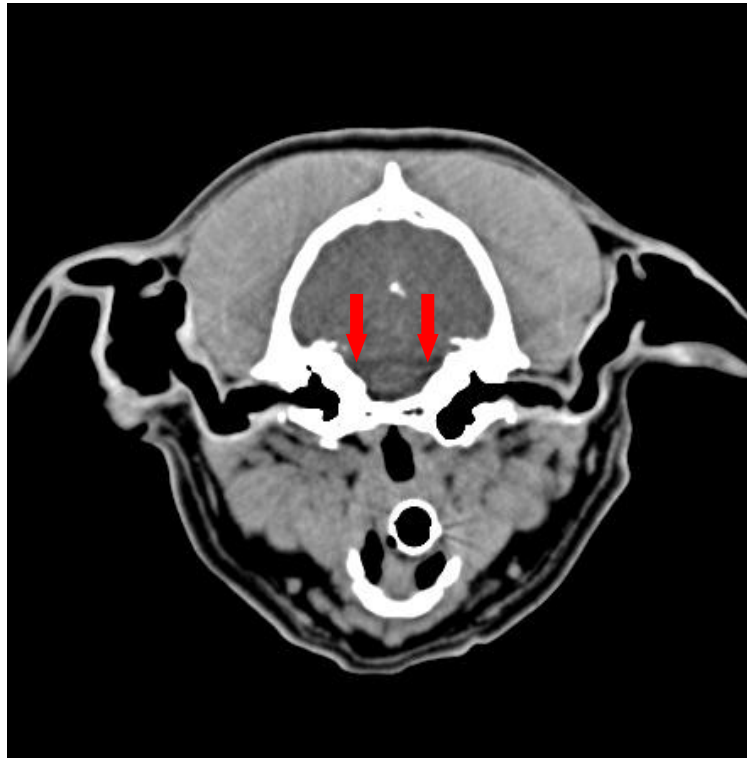
Teilvolumenartefakte (Partialvolumen-Artefakt) werden hervorgerufen, wenn röntgendichtere Strukturen nur partiell in ein weniger röntgendichtetes Gewebe hineinragen. Der Computer errechnet nur einen durchschnittlichen Dichtewert für die in einem Voxel enthaltenen Gewebe, wodurch es zur Artefaktbildung kommt. Das Artefakt stellt sich als dunkle und helle Streifen dar (Abbildung 18). Eine Schichtdickenreduktion führt zu einer Reduktion dieses Artefakts. Um hierdurch ein erhöhtes Rauschen herabzusetzen, können mehrere dünne Schichten zu einer dickeren teilvolumenartefaktfreien Schicht mit geringerem Rauschen addiert werden (Sonntag und Mihaljević, 2009).



*Abbildung 18: Transversalschnitt im Weichteilfenster durch den Schädel eines Labrador Retrievers: Partialvolumenartefakte der Schädelbasis (rote Pfeile)*

Aufhärtungsartefakte (beam-hardening-Artefakt) kommen durch das polychromatische Spektrum der Strahlung zustande, die von der Röhre ausgesendet wird. Die Abschwächung der Röntgenstrahlung im Gewebe zeigt eine Abhängigkeit von der Energie der Photonen und nimmt bei niedriger Photonenenergie zu. Hinter einer Struktur enthält die Strahlung einen höheren Anteil an Photonen mit hoher Energie als die von der Röntgenröhre erzeugte Strahlung (Rauchpach und Flohr, 2008).

Die bei der mittleren Energie erwartete Schwächung wird unterschätzt, da die am Detektor gemessenen Signale die mittlere Intensitätsabschwächung sämtlicher Energien wiedergeben. In rekonstruierten Bildern zeigen sich insbesondere zwischen dicken Knochen als Folge dunkle, balken- oder strichförmige Zonen (Abbildung 19). Eine Aufhärtungskorrektur erfolgt bereits als Bestandteil der Datenverarbeitung bei Mehrschicht-Spiral-CT (Rauchpach und Flohr, 2008).



*Abbildung 19: Transversalschnitt im Weichteilfenster durch den Schädel eines Labrador Retrievers: Strahlenaufhärtungs-Artefakte (rote Pfeile)*

## **2.5 Messungen an der Schulter**

Für die Beschreibung der Knochengeometrie (Osteometrie) und die Typisierung der Knochendichte (Osteodensitometrie) am Schultergelenk werden sowohl in der Humanmedizin wie auch in der Veterinärmedizin verschiedene Untersuchungsmethoden beschrieben (Müller-Gerbl et al., 1990 a; Iannotti et al., 1992; Churchill et al., 2001; Eller, 2003).

Im Folgenden soll hauptsächlich auf die Messungen eingegangen werden, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ins Tiermodell übertragen werden bzw. weiter modifiziert werden (Friedman et al., 1992; Iannotti et al., 1992; Eller, 2003).

### **2.5.1 Osteometrie**

In der Humanmedizin finden osteometrische Messungen vor allem in der präoperativen Planung von endoprothetischem Glenoidersatz Verwendung (Friedman et al., 1992; Mallon et al., 1992; Strewe, 2009).

#### **2.5.1.1 Messung der Version des Glenoids (Pfannenwinkel)**

Die Orientierung des Glenoids oder die glenoidale Retroversion hat sich in der Humanmedizin in zahlreichen Studien als wichtiger Faktor für die glenohumerale Instabilität etabliert (Bokor et al., 1999; Churchill et al., 2001). Abnormalitäten der glenoidalen Version werden unter anderem mit Osteoarthritis und rheumatoider Arthritis in Verbindung gebracht (Nyffeler et al., 2003).

Studien zur Erfassung der Daten am Schultergelenk bedienen sich zunächst Kadaverstudien, über Röntgentechnik bis schließlich hin zur Computertomographie (Churchill et al., 2001).

Nur mit Hilfe der Standardmethode Computertomographie wird der Wert der Glenoidversion beim Menschen exakt erfasst (Nyffeler et al., 2003).

In der Humanmedizin wird zur Bestimmung der Glenoidversion eine Verbindungslinie zwischen dem anterioren und posterioren Rand des Glenoids gezogen (Abbildung 20). Um die Transversalachse der Skapula zu gewinnen, wird eine Gerade angelegt,

die vom Mittelpunkt der Fossa glenoidalis bis zum medialen Ende der abgebildeten Skapula gezogen wird. Eine weitere Gerade, die sich rechtwinklig zu der Transversalachse der Skapula verhält, wird als „neutrale Version“ bezeichnet (Friedman et al., 1992).

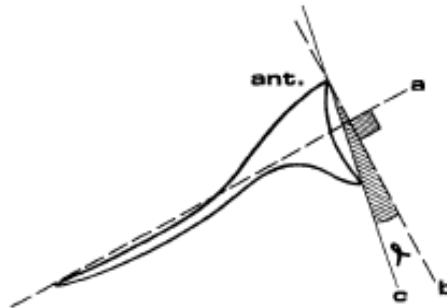


Abbildung 20: (nach Walch et al., 1999): Messung der Retroversion am Schultergelenk, Schemazeichnung der Skapula (a = Gerade, die die Transversalachse der Skapula wiedergibt; b = Gerade, die im rechten Winkel zur Transversalachse der Skapula steht; c = Gerade, die den anterioren und posterioren Rand der Fossa glenoidalis tangiert;  $\alpha$  = Winkel, der die Glenoidversion wiedergibt)

In der Humanmedizin wird der Zustand, wenn sich der posteriore Rand des Glenoids medial zur Geraden der neutralen Version befindet, als „Retroversion“ der Cavitas glenoidalis definiert. Misst man in diesem Fall den Winkel zwischen der „neutralen Version“ und der Tangente zwischen dem anterioren und posterioren Rand des Glenoids, ergibt sich eine negative Gradzahl. Befindet sich allerdings der anteriore Rand medial zu der Geraden der „neutralen Version“, erhält man die „Anteversion“ der Cavitas glenoidalis und der Winkel zwischen der „neutralen Version“ und der Tangente ergibt eine positive Gradzahl (Friedman et al., 1992). Eine wichtige Voraussetzung zur Durchführung dieser Messung ist eine einheitliche Position der Skapula um die Glenoidversion beschreiben zu können (Bokor et al., 1999).

In der Humanmedizin erweist sich diese Messung als gut geeignet zur präoperativen Planung von endoprothetischen Operationen (Walch et al., 1999).

### **2.5.1.2 Messung der Schultergelenkspaltweite**

Die physiologische Gelenkspaltweite des Schultergelenks soll in der Humanmedizin  $< 6$  mm betragen (Möller und Reif, 1998). Eine Gelenkspaltverschmälerung kann als typisches Arthroseanzeichen gesehen werden, wobei eine Verschmälerung als ein indirektes Zeichen für die Verringerung der Knorpelhöhe gewertet wird. In der Humanmedizin wird diese Messung mit Hilfe von Röntgenbildern durchgeführt (Zacher et al., 2007).

### **2.5.1.3 Vermessung des Humeruskopfes und der Cavitas glenoidalis**

In der Humanmedizin beschäftigt sich IANNOTTI et al. (1992) mit der Erfassung der Dimensionen der Humerusgelenkfläche und der glenoidalen Gelenkfläche. Die durchgeführten Untersuchungen werden zunächst an Kadavern durchgeführt und später an lebenden Patienten unter Zuhilfenahme der Magnetresonanztomographie. In dieser Studie werden vor allem Faktoren untersucht, die beim Design wie auch bei der Implantation einer Prothese beachtet werden sollten (Iannotti et al., 1992). Diese Faktoren beinhalten den lateralen Humerusabstand, den Abstand zwischen dem Tuberculum majus und dem lateralen Anteil des Akromions, den Abstand vom Tuberculum majus bis zum Anfangsbereich des Humeruskopfes und den Abstand von der Glenoidoberfläche bis zur lateralen Oberfläche der Basis des Processus coracoideus (Gelenkgerade) (Abbildung 21). Bei den Messungen zeigt sich eine starke Korrelation zwischen dem Radius der Krümmung des Humeruskopfes und dem Geschlecht in Relation zur Körpergröße ( $p < 0,01$ ). Bei 81% der Männer zeigt das Schultergelenk einen Radius zwischen 23-28 mm, wohingegen 79% der Schultergelenke bei Frauen einen Radius zwischen 19-22 mm haben (Iannotti et al., 1992).

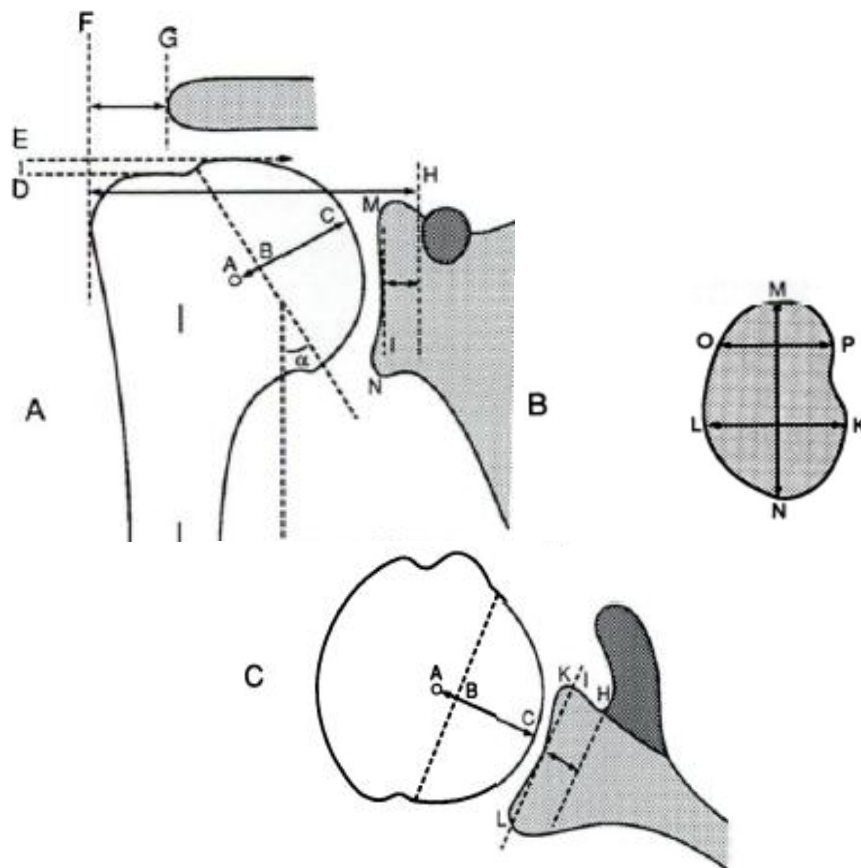


Abbildung 21: (nach Iannotti et al., 1992): Schematische Darstellung des menschlichen Schultergelenks und der anatomischen Messungen ((A): Sagittalschnitt durchs Schultergelenk, A-C = Radius der Krümmung des Humeruskopfes; B-C = Dicke des Humeruskopfes; M-N = superior-inferiore Dimension des Glenoids; H-I = Gelenkgrade des Glenoids; F-H = Lateraler Humerusabstand; F-G Abstand vom Tuberculum majus bis zum lateralen Anteil des Akromions; D-E = Abstand vom Humeruskopf bis zum Tuberculum majus. (B): Transversalschnitt durch das Glenoid, L-K = anterior-posteriore Dimension des Glenoids; M-N = superior-inferiore Dimension des Glenoids; O-P = anterior-posteriore Dimension des Glenoids; (C): Dorsalschnitt durch das Schultergelenk, A-C = Radius der Krümmung des Humeruskopfes; B-C = Dicke des Humeruskopfes; L-K = anterior-posteriore Dimension des Glenoids; H-I = Gelenkgrade des Glenoids)

Auch MCPHERSON et al. (1997) führen Messungen des Schultergelenks anhand digitalisierter Röntgenbilder vom Schultergelenk an Kadavern durch (Abbildung 22). Die Untersuchung dient dazu, die knöcherne Anatomie des proximalen Humerus und des Glenoids weiter zu definieren sowie die knöchernen anatomischen Verhältnisse zwischen dem normalen proximalen Humerus und dem Glenoid zu erfassen. Auf

dieser Basis soll ein Schultergelenkersatz entwickelt werden. Neben zusätzlichen Messungen am Humerus (humeral canal width, shaft width, tuberosity offset, head offset, radius of curvature, head diameter, canal flare index, glenoid height and depth, arc of enclosure, radius of curvature, and depth of cancellous bone, u.a.), werden auch weitere Messungen am Glenoid vorgenommen (McPherson et al., 1997).

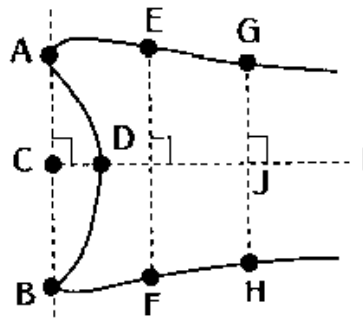


Abbildung 22: (McPherson et al., 1997): Schematische Darstellung des menschlichen Glenoids und der anatomischen Messungen. Anterior-posteriore Ansicht der Fossa glenoidalis (A-B = Höhe des Glenoids; von A nach B = Dicke Radius der Kurvatur; C-D = Tiefe des Glenoids; D-J = Tiefe der Spongiosa hinter dem Glenoid; E-F = Glenoidhöhe 1 cm von der Gelenkoberfläche entfernt)

Anhand der Messungen können paarweise Korrelationen zwischen den genannten Parametern eruiert werden. So bestehen beispielsweise Korrelationen zwischen dem Durchmesser des Humeruskopfes gegenüber der Schaftweite, der Kanalweite, dem Radius der Kurvatur und der Glenoidhöhe (McPherson et al., 1997). Diese Messungen ermöglichen somit die Entwicklung eines präzisen, reproduzierbaren Systems für die Analyse der knöchernen Anatomie der menschlichen Schulter und dienen zum besseren Verständnis der Geometrie des Glenohumeralgelenks. Weiterhin kann anhand der gefundenen knöchernen Parameter eine anthropometrische Analyse des Glenoids und des proximalen Humerus gemacht werden, die für die Entwicklung von Prothesen genutzt werden kann (McPherson et al., 1997).



### **2.5.2 Knochendichtemessung (Osteodensitometrie)**

Densitometrische Verfahren haben sich in der Humanmedizin zur Diagnose der Osteoporose durchgesetzt (Issever und Link, 2010).

Die einzige von der World Health Organization (WHO) anerkannte Referenzmethode ist die „dual energy X-ray absorptiometry“ (DXA), die auf dem Prinzip beruht, dass der zu untersuchende Körperabschnitt unter Verwendung zweier unterschiedlicher Röntgenstrahlungsniveaus (höher- und niedrigerenergetisch) gemessen wird. Weitere wichtige Verfahren stellen die „periphere dual energy X-ray absorptiometry“, die „quantitative Computertomographie“, „periphere quantitative Computertomographie“ sowie unter anderem die „quantitative Ultraschalluntersuchung“ dar (Issever und Link, 2010).

In der Veterinärmedizin werden densitometrische Untersuchungen unter anderem zur Erstellung einer Datenbank über die Knochendichte der Katze durchgeführt. Eine Limitation in der Anwendung zeigt sich hier aufgrund der hohen Anschaffungskosten der Geräte und einer Beschränkung der bisher bekannten Einsatzmöglichkeiten. Eine weitere Limitation für den Routineeinsatz der Densitometrie stellen die fehlenden Referenzwerte für die unterschiedlichen Tierarten, verschiedener Rassen und auch Altersstadien sowie der Mangel an weiteren Studien dar (Schmidt, 2005). Auch an weiteren Säugetieren wie dem Hund werden wenige Studien durchgeführt um die „dual energy X-ray absorptiometry“ aufgrund ihrer Aussagekraft über Knochenheilung, Knochenstärke und weitere physikalische Eigenschaften des Knochens zu etablieren (Lauten et al., 2001).

### **2.5.3 CT-Osteoabsorptiometrie**

Ein weiteres Verfahren, dass zwar keine Berechnung von absoluten Werten liefert, allerdings einen relativen Konzentrationsunterschied innerhalb einer Gelenkfläche anhand von relativen Dichteverteilungen des subchondralen Knochens am lebenden Patienten zur Darstellung bringt, stellt die CT-Osteoabsorptiometrie dar (Müller-Gerbl et al., 1989; Müller-Gerbl et al., 1990 a, b; Müller-Gerbl et al., 1993).

Mit Hilfe von zuvor erstellten „Dichtekarten“ kann ein Aufschluss über die individuelle mechanische Situation eines Gelenkes gewonnen werden. Diese Informationen

werden im Rahmen von Verlaufskontrollen dazu verwendet, eine Aussage über die Belastbarkeit von Knochen mit Hilfe einer nicht-invasiven Methode machen zu können (Müller-Gerbl et al., 1990 a, b).

Es zeigt sich, dass die Knochendichte durch bestimmte sportliche Aktivitäten oder einen Anstieg des Körpergewichts zunimmt. Zu einer stärkeren Knochenresorption kommt es allerdings im Zuge der Abnahme der körperlichen Aktivität (Müller-Gerbl et al., 1990 a; Müller-Gerbl et al., 1993). Jüngere Patienten zeigen eine andere Dichteverteilung an den Gelenkflächen als ältere Patienten (Müller-Gerbl et al., 1993).

Zu osteodensitometrischen Messungen finden sich in der Veterinärmedizin im Vergleich zu der Humanmedizin adäquate Untersuchungen, die im Rahmen von anatomischen und biomechanischen Untersuchungen durchgeführt werden (Eller, 2003). Dabei kann in Transversalschnitten festgestellt werden, dass sich ein Knochendichtemaximum kaudal am Humeruskopf findet. Bei dieser Lokalisation handelt es sich um eine Prädilektionsstelle für Knorpelschäden und somit einer Lokalisation, die einer erhöhten Belastung ausgesetzt ist. Weiterhin zeigt sich eine stärkere Mineralisierung der subchondralen Knochenlage der Cavitas glenoidalis im Vergleich zum Humeruskopf. Da beim Schultergelenk ein inkongruentes Gelenk vorliegt, befinden sich die Kontaktzonen in der Peripherie und erst ab einer bestimmten Größe der einwirkenden Kraft tritt auch die Cavitas in Kontakt mit dem konvexen Partner, was eine vergrößerte Kontaktfläche bei kleinerer Druckspannung zur Folge hat und somit eine gleichmäßige Lastverteilung über die gesamte Gelenkfläche bewirkt (Bullough et al., 1981; Eller, 2003).

### **3 Eigene Untersuchungen**

Ziel und Aufgabenstellung der eigenen Untersuchung ist die Bestimmung der Knochendichte (Osteodensitometrie) und Beschreibung der Knochengeometrie (Osteometrie) an ausgewählten knöchernen Regionen des Schultergelenks bei Hunden der Rassen Golden Retriever, Labrador Retriever und Deutscher Schäferhund mit Hilfe der Computertomographie (CT).

#### **3.1 Material und Methoden**

##### **3.1.1 Material**

Bei den in dieser Arbeit untersuchten Hunden handelt es sich um Tiere, die in der Klinik für Kleintiere des Klinikums Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Zuchtuntersuchung (Untersuchung auf Hüftgelenksdysplasie (HD) und Ellbogengelenksdysplasie (ED)) in der Röntgenabteilung vorgestellt werden.

Die verwendete Patientengruppe beschränkt sich auf Hunde der Rassen Golden Retriever, Labrador Retriever und Deutscher Schäferhund. Es gibt keine Einschränkungen bezüglich des Geschlechts, Alters oder Gewichts.

In dieser prospektiven Studie werden ausschließlich Hunde untersucht, deren Schultergelenke im Röntgen und in der CT keine pathologischen Veränderungen im Sinne von degenerativen knöchernen Veränderungen (Arthrosen, Osteochondrose, etc.), Frakturen, kongenitalen Veränderungen (z.B. separates Ossifikationszentrum) oder Veränderungen im umgebenden Weichteilgewebe zeigen.

Bei 150 Patienten werden beide Schultergelenke untersucht. Zur weiteren Messung stehen somit 300 CT-Datensätze von einzelnen Schultergelenken zur Verfügung.

### **3.1.2 Methoden**

#### **3.1.2.1 Vorbereitung**

Jedem Hund wird im Rahmen der Anästhesievorbereitung zur Zuchtuntersuchung (HD/ED-Untersuchung) eine Venenverweilkanüle in die Vena cephalica antebrachii einer Vorgliedmaßen eingelegt. Zusätzlich zu den für die Zuchtuntersuchung notwendigen Röntgenbildern (Ellbogen beidseits mediolateral und kraniokaudal in 15° Pronation; Becken ventrodorsal) werden mediolaterale Aufnahmen der Schultergelenke angefertigt, um zu eruieren, ob das Tier röntgenologisch unauffällige Schultergelenke hat. Die Röntgenbilder werden mit Hilfe einer digitalen Röntgenanlage der Firma Philips (PCR Eleva Version 1.1.) angefertigt.

Im Anschluss an die reguläre Zuchtuntersuchung werden die Patienten einer computertomographischen Untersuchung der Schultern unterzogen.

Genehmigt wird die Studie als „Durchführung von Versuchen an Wirbeltieren“ im Rahmen eines „anzeigepflichtigen Vorhabens gem. § 8a Tierschutzgesetz i.d.F. vom 18. Dezember 2007 (BGBl.IS.3001; 2008, 47), ber. am 22. Januar 2008, BGBl. IS.47.

#### **3.1.2.2 Anästhesie**

Die Anästhesieeinleitung erfolgt mittels Diazepam 0,5-1 mg/kg Körpergewicht i.v. (Diazepam-ratiopharm ®) und Atropin 0,02-0,04 mg/kg KGW i.v. (Atropinsulfat; B. Braun Melsungen AG) über eine Venenverweilkanüle mit Injektionsport (Vaso Vet 20G; B. Braun Melsungen AG).

Die Erhaltung der Narkose wird mit Ketamin 10% 8-10 mg/kg KGW (Ketamin medistar ®) und Xylazin 2% 1 mg/kg KGW (Xylazinhydrochlorid medistar ®) durchgeführt.

Vor der computertomographischen Untersuchung werden die Hunde intubiert und während der gesamten Narkose einer regelmäßigen Atem- und Pulskontrolle unterzogen. Während der computertomographischen Untersuchung bis zur Aufwachphase erhalten die Patienten 1000 ml Sterofundin ® (Sterofundin B. Braun Melsungen AG) intravenös als Infusion über ein Soluflo® Infusionsset mit 15 µm Filter (Dispomed Witt oHG).

### **3.1.2.3 Computertomographische Untersuchung**

Bei der CT-Untersuchung kommt ein 16-Zeilen Spiral-Tomograph der Firma Philips zum Einsatz. Bei diesem Computertomographen handelt es sich um ein Gerät der vierten Generation. Die Detektoreinheit besteht aus 16 Zeilen. Der Röntgenstrahler DURA Akron Q ist eine Einheit und besteht aus der Röntgenröhre DURA 532 Q und dem Röhrenschutzgehäuse. Der Computertomograph wird mit Wasser gekühlt.

Für die Untersuchung werden die Tiere in Rückenlage, zentral auf der Patientenliege des Computertomographen, mit den Vordergliedmaßen in maximaler Streckstellung und Einwärtsdrehung symmetrisch mit Hilfe einer Lagerungshilfe positioniert. Als Lagerungshilfe dient ein selbstentwickeltes Ausbindesystem. Mithilfe von um die Karpalgelenke angelegten Lederschnallen und an diesen befestigten elastischen Binden (bmp Idealbinde S: Breite: 8 cm, Länge gedehnt: ca. 5 m, No 1955, Beiersdorf AG Hamburg), die kranial des Patientenkörpers am Tischaufsatz an der Patientenliege befestigt werden, kann eine standardisierte Lagerung mit gleichmäßiger Extension beider Vordergliedmaßen bei allen Patienten erzielt werden. Wichtig ist es einen maximalen gleichseitigen Zug auf die Vordergliedmaßen auszuüben, um eine regelmäßige Extension zu erreichen (Abbildung 23).

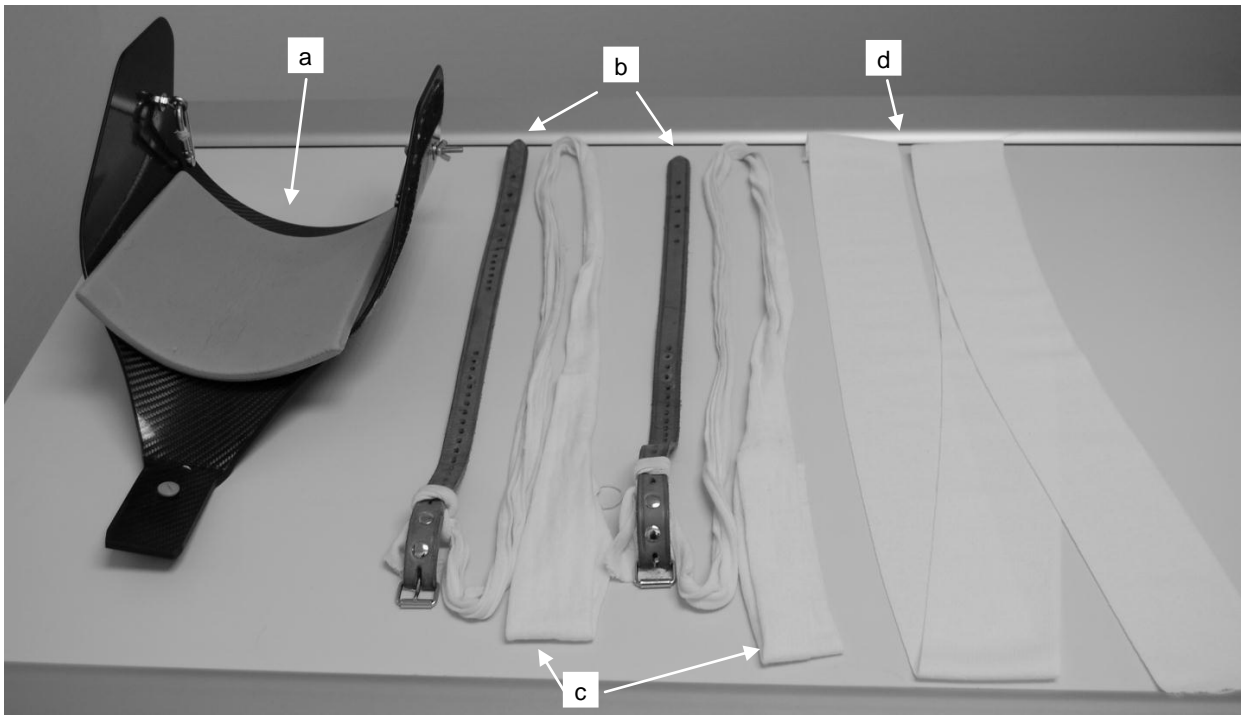


Abbildung 23: Lagerungshilfen für die computertomographische Untersuchung der Schultergelenke (a = Tischaufsatz, der richtung Gantry an der Patientenliege angebracht wird; b = Lederschnallen, die auf Höhe der Karpalgelenke angebracht werden; c = elastische Binden um die Vordergliedmaßen in maximaler Streckung am Tischaufsatz festzubinden; d = elastische Binde um die Vordergliedmaßen auf Höhe der Ellbogengelenke zusammen zu binden)

Auf Höhe der Ellbogengelenke werden die Vordergliedmaßen mit Hilfe einer weiteren elastischen Binde (bmp Idealbinde S: Breite: 8 cm, Länge gedehnt: ca. 5 m, No 1955, Beiersdorf AG Hamburg) zusammengebunden, lediglich getrennt durch eine etwa 2x10 cm dicke Positionshilfe aus Schaumstoff (Abbildung 24a, 24b, 25a, 25b).



Abbildung 24a: Seitenansicht, Patient in Rückenlage. Die Vordergliedmaßen werden mittels Ausbindesystem in maximale Extension und Einwärtsdrehung gebracht. Um jedes Karpalgelenk wird eine Lederschnalle angebracht, die mit elastischen Binden am Tischaufsatz festgebunden wird. Mit einer weiteren elastischen Binde werden die Vordergliedmaßen auf Höhe der Ellbogengelenke zusammengebunden

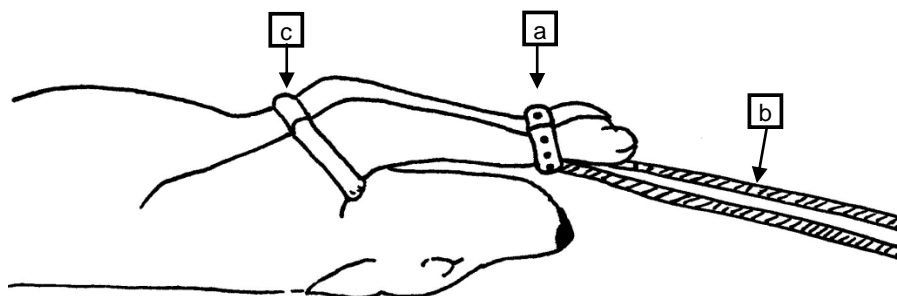


Abbildung 24b: Skizze: Seitenansicht, Patient in Rückenlage. Die Vordergliedmaßen werden mittels Ausbindesystem in maximale Extension und Einwärtsdrehung gebracht. Um jedes Karpalgelenk wird eine Lederschnalle (a) angebracht, die mit elastischen Binden (b) am Tischaufsatz festgebunden wird. Mit einer weiteren elastischen Binde (c) werden die Vordergliedmaßen auf Höhe der Ellbogengelenke zusammengebunden



*Abbildung 25a: Frontalansicht, der Patient in Rückenlage, die Vordergliedmaßen werden mittels Ausbindesystem in maximale Extension und Einwärtsdrehung gebracht. Um jedes Karpalgelenk wird eine Lederschnalle angebracht, die mit elastischen Binden am Tischaufsatz festgebunden wird. Mit einer weiteren elastischen Binde werden die Vordergliedmaßen auf Höhe der Ellbogengelenke zusammengebunden*



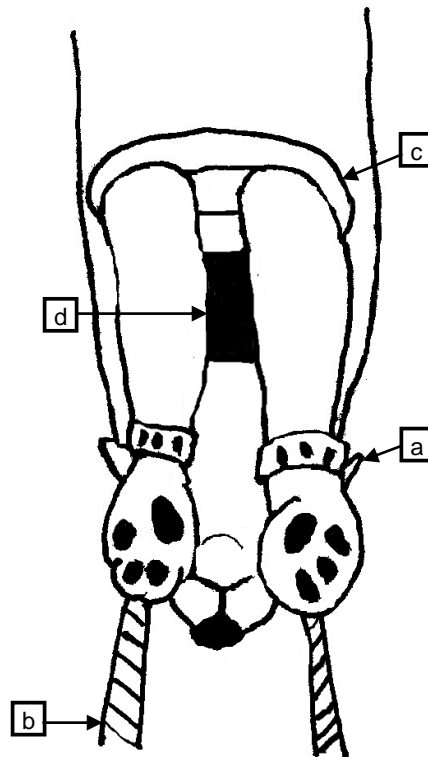


Abbildung 25b: Skizze: Aufsicht, der Patient in Rückenlage, die Vordergliedmaßen werden mittels Ausbindesystem in maximale Extension und Einwärtsdrehung gebracht. Um jedes Karpalgelenk wird eine Lederschnalle (a) angebracht, die mit elastischen Binden (b) am Tischaufsatz festgebunden wird. Mit einer weiteren elastischen Binde (c) werden die Vordergliedmaßen auf Höhe der Ellbogengelenke zusammengebunden. Zwischen die beiden Vordergliedmaßen wird eine Positionshilfe (d) dazwischengeschoben, um einen Abstand zwischen beide Vordergliedmaßen zu bringen

Der CT-Survey wird in laterolateraler und in dorsoventraler Schichtausrichtung durchgeführt.

Anhand der so gewonnenen digitalen Übersichtsaufnahmen können die notwendigen Einzelschnitte geplant werden. Im Folgenden werden die Schichtdicke und der Tischvorschub so klein wie möglich gewählt, um die bestmögliche Auflösung zu erreichen.

Die Erhebung der Datensätze erfolgt mit folgenden Software-Einstellungen:

- Länge: 250 mm
- Schichtdicke (Slice): 2 mm

- Increment: -1 mm
- kV: 140
- mAs/Slice: 300
- Resolution: standard
- Collimation: 16x1,5
- Pitch: 0,438
- Rotation time: 0,75 sec
- FOV: 300 mm
- Filter Detail: (D)
- Enhancement: 0
- Window: C: 900
- Window: W: 2200
- Matrix: 768
- SP Filter

Die Untersuchung der Schultergelenke erfolgt von distal nach proximal, wobei die ersten Schnitte den mittleren bis proximalen Humerusdiaphysenanteil zeigen und die letzten Schnitte den mittleren Korpusanteil der Skapula mit erfassen. Hierdurch wird gewährleistet, dass das gesamte Schultergelenk inklusive der Umgebung erfasst wird. Bei jedem Patienten werden beide Schultergelenke gleichzeitig auf dem Bildschirm abgebildet. Etwa 150 Schichtaufnahmen entstehen in der transversalen Ebene. Die Auswertung erfolgt mit einer Fensterweite von 2200 und einem Fenstermittelpunkt von 900.

### **3.1.2.4 Befundung**

Nach Erhebung aller Daten werden die CT-Aufnahmen mit Hilfe einer Philips Workstation bearbeitet und die notwendigen Messungen durchgeführt.

### **3.1.2.5 Messvorgang**

#### ***a.) Grundeinstellungen für Messungen (1)-(12):***

Nach dem Aufspielen des CT-Datensatzes auf die Philips Workstation, wird die Grundausrichtung der Skapula für die Messungen der einzelnen Parameter in den drei CT-Ebenen vorgenommen.

Man unterscheidet die sagittale (senkrechte), die transversale/koronare (vertikale) und die dorsale/axiale (horizontale) Schnittebene.

##### ***1.) Ausgangsposition:***

Der große linke Bildquadrant stellt die sagittale Ebene, der obere rechte Bildquadrant die transversale Ebene und der untere rechte Bildquadrant die dorsale Ebene dar (Abbildung 26).

Jede Ebene wird in den beiden anderen Ebenen durch eine Gerade in einer bestimmten Farbe dargestellt (z.B. grüne Gerade im Transversalschnitt entspricht der dorsalen Ebene, die blaue Gerade im Transversalschnitt entspricht der sagittalen Ebene usw.).

Sowohl im Transversalschnitt als auch im Dorsalschnitt wird die sagittale/blaue Gerade deckungsgleich beziehungsweise parallel zum Verlauf der Skapula ausgerichtet.

Als nächstes wird der Sagittalschnitt so ausgerichtet, dass der Verlauf der Spina scapulae gut nachvollziehbar ist, sowie gleichzeitig der Humeruskopf und die Cavitas glenoidalis der Skapula mit maximalster Fläche sichtbar sind.

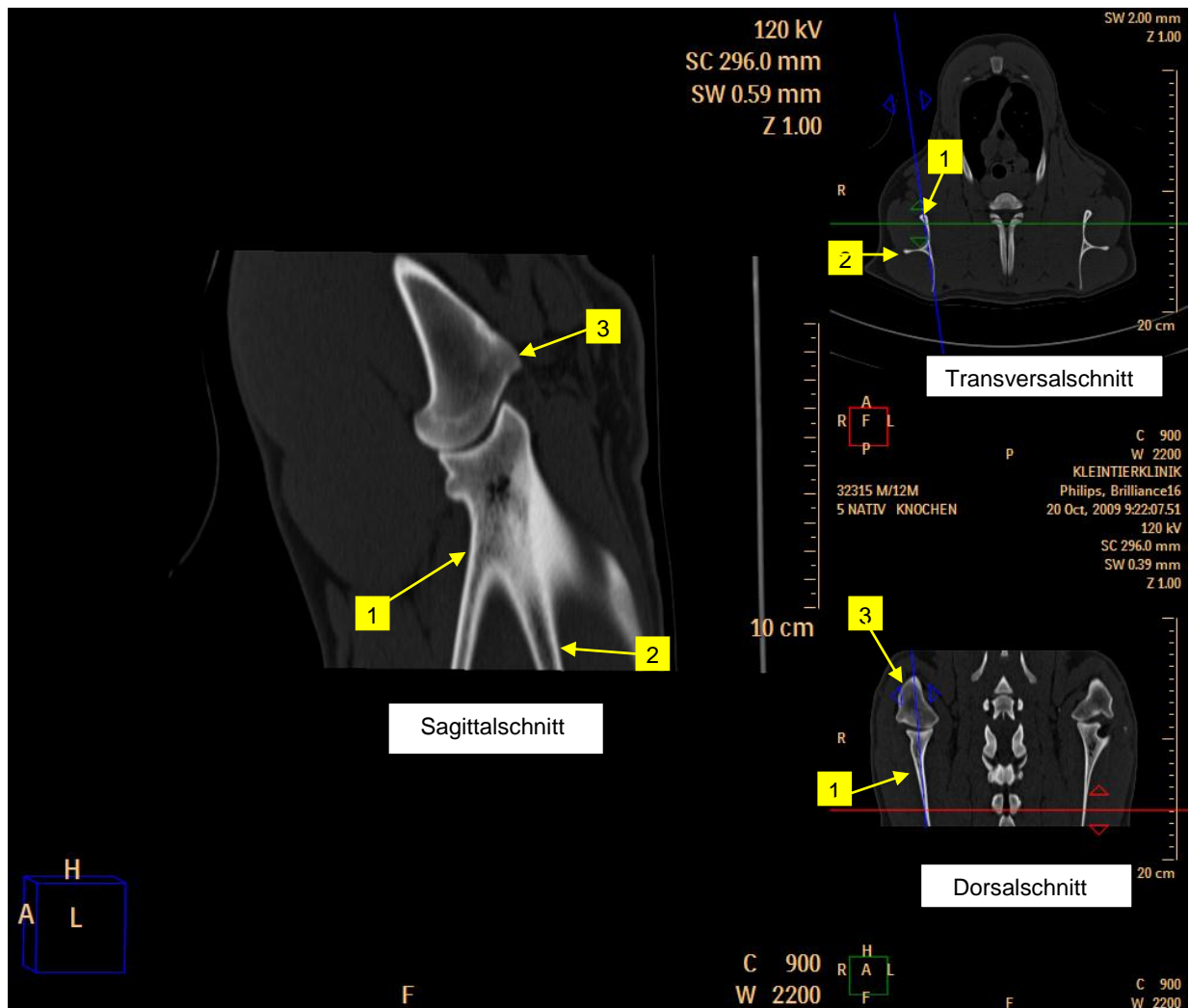


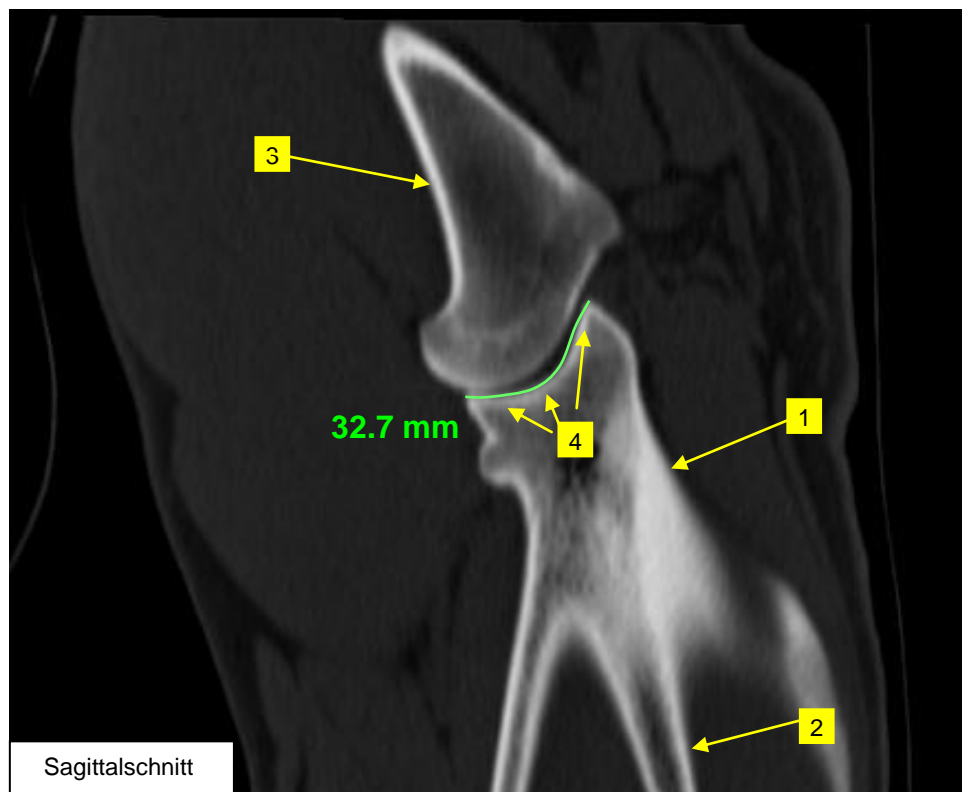
Abbildung 26: CT-Aufnahmen in allen 3 Ebenen, Schulter in Extensionsstellung: Ausrichtung des Schultergelenks (blaue Gerade = repräsentiert die sagittale Ebene; grüne Gerade = repräsentiert die dorsale Ebene; rote Gerade = repräsentiert die transversale Ebene; 1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Humerus)

Aufgrund dieser Grundausrichtungen soll eine reproduzierbare Ausrichtung der Skapula in den verschiedenen Ebenen gewährleistet werden.

## 2.) Bestimmung der Mitte der Cavitas glenoidalis:

Für einige Messungen (Messungen des Schultergelenkwinkels (1), des Pfannenwinkels (2), der Schultergelenkspaltweite (4), Dickenmessungen von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf (8),

Dickenmessungen von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis (9), Messungen des kraniokaudalen Abstandes und der Tiefe der Cavitas glenoidalis (11)) wird die genaue Ermittlung des Mittelpunktes der Cavitas glenoidalis benötigt. Hierzu wird zunächst die gesamte Länge der Cavitas glenoidalis im Sagittalschnitt von kranial nach kaudal gemessen. Die Cavitas glenoidalis erstreckt sich von kranial im Bereich des Tuberculum supraglenoidale bis nach kaudal im Bereich des Tuberculum infraglenoidale (Abbildung 27).



*Abbildung 27: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Länge der Cavitas glenoidalis (1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Humerus; 4 = Cavitas glenoidalis; bei der grünen Strecke handelt es sich um die gemessene Länge der Cavitas glenoidalis, die Messergebnisse werden in Millimeter (mm) angegeben)*

Aufgrund der so gewonnenen Länge der Cavitas glenoidalis kann auf halber Länge dieser eine Markierung geschaffen werden, die für die Messungen (1), (2), (4), (8), (9) und (11) als Orientierungspunkt dient (Abbildung 28). Die Markierung in der Mitte der Cavitas glenoidalis wird bei den weiteren Messungen als „Mittelpunkt“ der Cavitas glenoidalis bezeichnet.

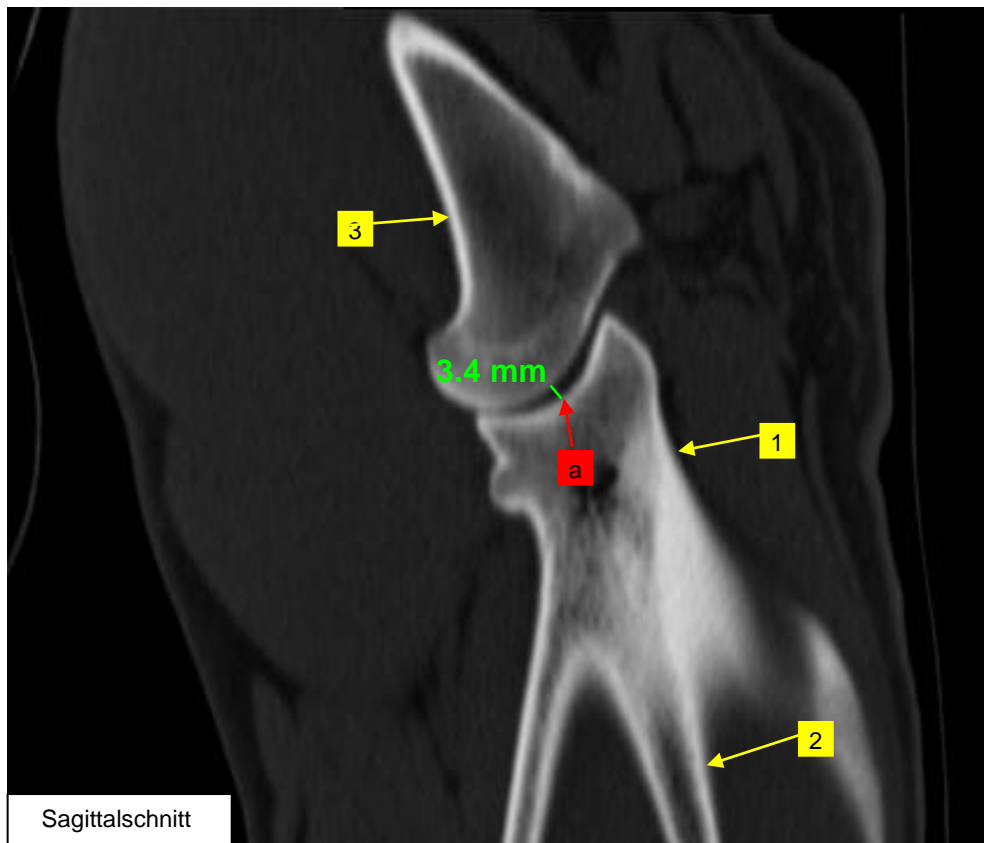


Abbildung 28: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Mittelpunktes der Cavitas glenoidalis (1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Humerus; a = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis, die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)

### 3.1.2.6 Bildbearbeitung

Das zum Gerät dazugehörige Software-Programm der Firma Philips bietet die Möglichkeit den Winkel zwischen zwei Geraden, Flächen- und Dichtewerte innerhalb einer bestimmten „Region of Interest“ (ROI) sowie Abstände/Distanzen und Längen zu messen.

#### 1.) **Winkelmessung:**

Für die Winkelmessung wird der Winkel zwischen zwei Geraden gemessen. Bei der Winkelmessung handelt es sich um eine der grundlegendsten Vermessungsmethoden und sie wird mit dem Kosinussatz berechnet:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right) \text{ mit } 0^\circ < \alpha < 180^\circ$$

(Gevantmakher und Meinel, 2004)

## **2.) Abstand-/Distanz-/Längenmessung:**

Für die Längenmessung wird der Abstand zwischen zwei festgelegten Punkten gemessen. Bei der Distanzmessung handelt es sich um eine der grundlegendsten Vermessungsmethoden. Die Distanzmessung wird nach dem pythagoreischen Lehrsatz durchgeführt:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \text{ [pixel]}$$

oder

$$c = R \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \text{ [mm]}$$

Mit R – Auflösung (mm/pixel) (Gevantmakher und Meinel, 2004).

## **3.) Flächenmessung:**

Mit Hilfe der entsprechenden Software der Philips Workstation kann eine sogenannte „Region of Interest“ (ROI) abgegrenzt und markiert werden und innerhalb dieser Region die Fläche berechnet werden.

## **4.) Dichtemessung:**

Wie schon vorher bei der Flächenmessung, wird auch bei der Dichtemessung eine „Region of Interest“ (ROI) festgelegt, innerhalb der die Dichte gemessen wird. Für die Knochendichtemessung steht die Bestimmung des Knochenmineralgehaltes aus der Absorption von Röntgenstrahlung zur Verfügung. Allgemein nimmt die Intensität der Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie an Intensität ab. Für Strahlung einer festen Energie gilt:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

In dieser Formel gibt  $I_0$  und  $I$  die Intensität des einfallenden und des ausfallenden Strahls wieder. Bei  $x$  handelt es sich um die Schichtdicke. Der Faktor  $\mu$ , der sogenannte Absorptionskoeffizient hängt von der Ordnungszahl des durchstrahlten Elements oder von den Ordnungszahlen des durchstrahlten Materialgemischs, von der Dichte des Materials und von der Energie der Strahlung ab (Brinckmann et al., 2000).

### **5.) Histogramm:**

Es besteht die Möglichkeit die Häufigkeitsverteilung der Dichtewerte innerhalb einer ROI in einem Säulendiagramm darzustellen. Auf diese Weise ist es möglich Rückschlüsse über die Gewebezusammensetzung des Objektes zu ziehen (Jury, 1999). Ein Histogramm ist eine diskrete Funktion, welche die Grauerthäufigkeit eines Bildes zum Ausdruck bringt (Abbildung 29). Um aus einem Bild ein Histogramm zu erstellen, werden die einzelnen Bildpunkte einer bestimmten Graustufe in ihrer Häufigkeit abgezählt und im Anschluss über einer Grauwertskala aufgetragen. Histogramme stellen in Bezug zur statistischen Bildanalyse ein sehr wichtiges Mittel dar. Daraus lässt sich der mittlere Grauwert oder die Streuung als Eigenschaft eines Bildes ableiten (Gevantmakher und Meinel, 2004).



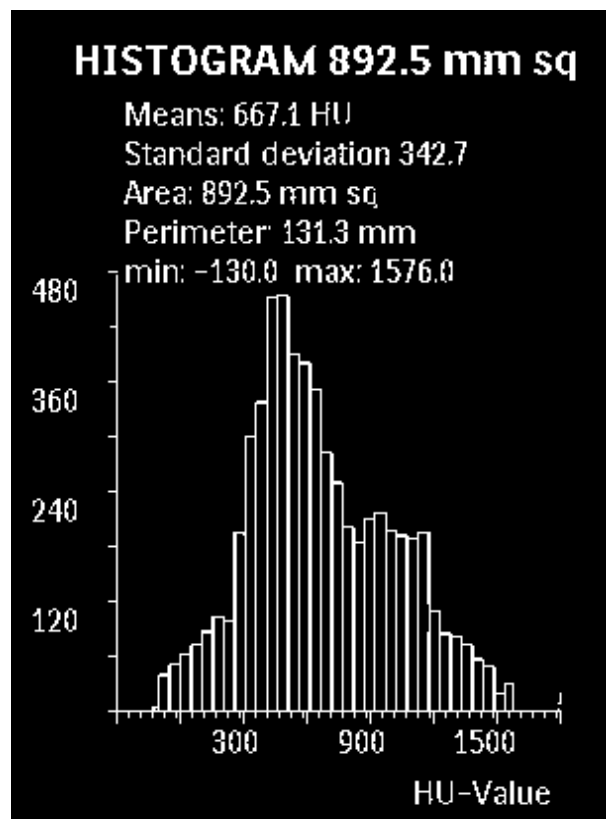


Abbildung 29: Schemadarstellung: Histogramm vom Softwareprogramm der Philips Workstation erstellt. Die X-Achse gibt die in Hounsfield-Einheiten angegebenen Dichtewerte an. Die Y-Achse stellt die Häufigkeitsverteilung anhand der Pixelanzahl dar ( $\text{mm sq} = \text{mm}^2 = \text{Quadratmillimeter}$ , in denen die Fläche wiedergegeben wird, Means = Mittelwert, HU = Hounsfield-Unit, anhand der die Dichte wiedergegeben wird, Standard deviation = Standardabweichung, Area = Fläche, Perimeter = Umfang in mm = Millimeter, min = Minimum, max = Maximum)

Das Softwareprogramm erfasst bei der Erstellung des Histogramms sowohl die Fläche (engl. area = AR) in  $\text{mm}^2$  (engl. mm sq), den Mittelwert (engl. means/average value = AV) der Hounsfield-Einheiten (engl. Hounsfield-Unit = HU), die Standardabweichung der erfassten Hounsfield-Einheiten (engl. standard deviation = SD), den Umfang in mm gemessen (engl. perimeter) der ROI und Minimum- (min) und Maximum- (max) Werte der Hounsfield-Einheiten.

Die Messwerte werden als graphische Häufigkeitsverteilung dargestellt (Histogramm). Hierzu befinden sich auf der X-Achse die errechneten Dichtewerte in Hounsfield-Einheiten angegeben und auf der Y-Achse ihre Häufigkeitsverteilung.

## **6.) Falschfarben:**

Mit Hilfe des Softwareprogramms der Philips Workstation ist es möglich die vorher errechneten Dichtewerte farblich darzustellen. Hierzu bedient man sich sogenannter Falschfarben. Der Begriff Falschfarbendarstellung ist nur dann zutreffend, wenn Farben zur Darstellung von bestimmten Eigenschaften eines Objektes verwendet werden, von dem es auch eine Darstellung in „richtigen“ Farben gibt, die durch die Falschfarben ersetzt werden (Müller und Groß, 2006).

Unter Falschfarben versteht man somit Farben, die vom natürlichen Farbeindruck abweichen. In der Wissenschaft werden Falschfarben verwendet, um feine Nuancen eines Farbtons oder einer Graustufe in einem Bild deutlich hervorzuheben und somit einer Kontrasterhöhung zu dienen (Müller und Groß, 2006). Bei den eigenen Untersuchungen werden Graustufenbilder verwendet, die nachträglich in Falschfarbenbilder umgewandelt werden. Dabei wird die Grauskala eindeutig auf eine Falschfarbenskala abgebildet. Im Folgenden sollen die verschiedenen Graustufen durch Falschfarben, in diesem Fall Abstufungen der Farbe Rot, wiedergegeben werden. Hierzu wird die Farbe Rot zur Wiedergabe hoher Dichtewerte (von 1000-3000 Hounsfield–Einheiten) und ihre Abstufungen bis Rosa, zur Wiedergabe niedrige Dichtewerte (< 1000 Hounsfield-Einheiten) verwendet. Auf diese Weise können unterschiedliche Mineralisierungsmuster optisch besser und schneller erfasst werden. Bei den Messungen werden nur die Bereiche hoher Dichte (1000-3000 HE) beachtet.

### **3.1.2.7 Die einzelnen Messungen**

#### ***a.) Messungen im Sagittalschnitt:***

Die Messungen des Schultergelenkwinkels (1), des Pfannenwinkels (2), der Länge des Humeruskopfes (3), der Schultergelenkspaltweite (4), die Flächen- und Dichtemessungen des Humeruskopfes (5), der Humerusepiphyse (6), des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (7) sowie die Dickenmessungen von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf (8) und an der Cavitas glenoidalis (9), die Messungen der Fläche und Dichte des gelenknahen

Anteils der Skapula (10), des kraniokaudalen Abstandes und der Tiefe der Cavitas glenoidalis (11) und der Länge der Cavitas glenoidalis (12) werden im Sagittalschnitt durchgeführt.

### **1.) Messung des Schultergelenkwinkels:**

#### *Ziel der Messung:*

Anhand dieser Messung soll ein Standardwinkel gefunden werden, der das Verhältnis von Skapula und Humerus unter vorher festgelegten Lagerungsbedingungen (maximale Extension und Einwärtsdrehung der Vordergliedmaßen) wiedergibt. Hintergrund dieser Messung ist es, die einheitliche Lagerung des Patienten zu überprüfen (Abbildung 24a, 24b, 25a und 25b).

#### *Messvorgang:*

Als erstes wird eine Gerade (a) die dem kaudalen Verlauf der Spina scapulae (2) folgt, angelegt, diese endet am Mittelpunkt (4) der Cavitas glenoidalis (Abbildung 30). Von diesem Endpunkt der Geraden (a) wird eine weitere Gerade (b) entlang der kaudalen Kontur des Humerusschaftes angelegt. Nun wird der Winkel (c) zwischen Geraden (a) und (b) gemessen (zur Winkelmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 1).

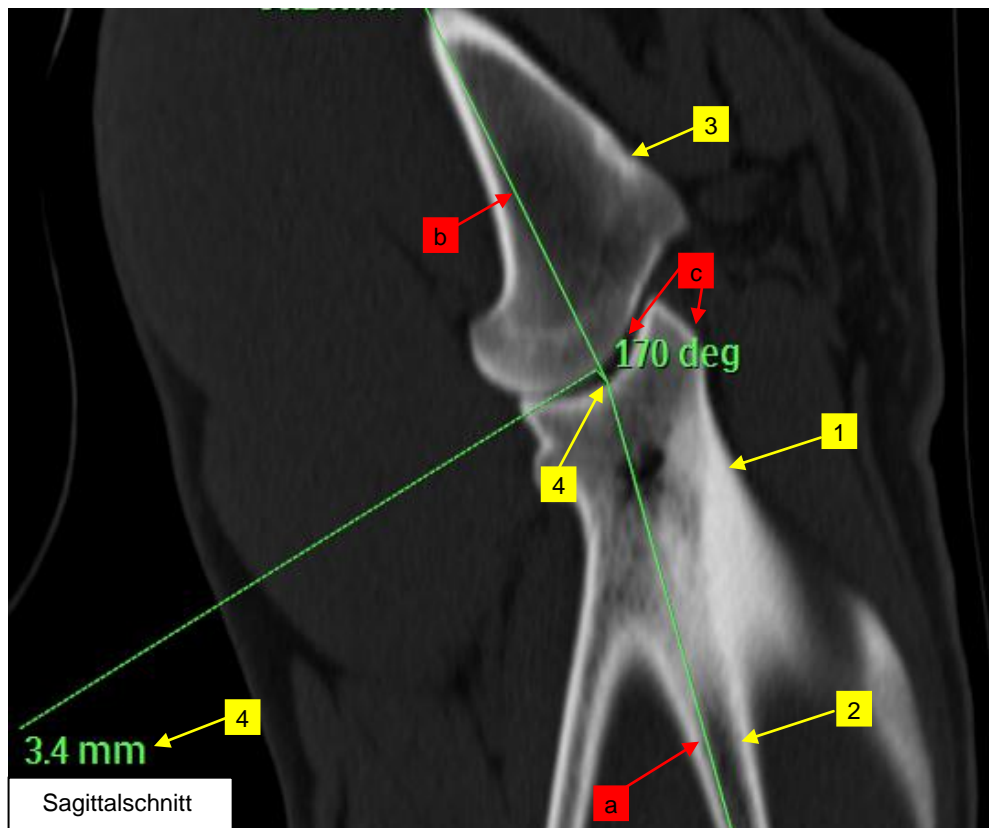


Abbildung 30: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Schultergelenkwinkels (1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Humerus; 4 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; a = Gerade, die der Spina scapulae angelegt wird, endet im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; b = Gerade, die der kaudalen Kontur des Humerusschaftes angelegt wird, mit Ursprung im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; c = Winkel, der im Schultergelenk von der Geraden (a) und (b) gebildet wird; die Messergebnisse werden in Grad ° (deg) angegeben)

*Anmerkung zu der Messung:*

Die Spina scapulae und die kaudale Kontur des Humerusschaftes bilden die benötigten reproduzierbaren Orientierungspunkte um diese Messung durchführen zu können. Hiermit soll eine Reproduzierbarkeit und Standardisierung gewährleistet werden. Abweichungen dieses Messparameters könnten in Folge Abweichungen weiterer Messparameter mit sich bringen (zum Beispiel bei der Messung der Schultergelenkspaltweite (4) kann es zu Abweichungen kommen).

## **2.) Messung des Pfannenwinkels:**

### *Ziel der Messung:*

Der Pfannenwinkel soll das Verhältnis zwischen der Ausrichtung der Skapula und der Cavitas glenoidalis wiedergeben. Auf diese Weise soll ein Standardwinkel gefunden werden, mit dessen Hilfe eine Aussage über die Funktion und Stabilität des Glenohumeralgelenks gemacht werden kann.

### *Messvorgang:*

Zunächst wird eine Gerade (a) die dem kaudalen Verlauf der Spina scapulae folgt, an dieser angelegt, diese Gerade endet am Mittelpunkt (3) der Cavitas glenoidalis. Von diesem Endpunkt der Geraden (a) wird eine weitere Gerade (b) Richtung Tuberculum infraglenoidale (4) angelegt, die im rechten Winkel (c) zur Geraden (a) steht (Abbildung 31) (zur Winkelmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 1).

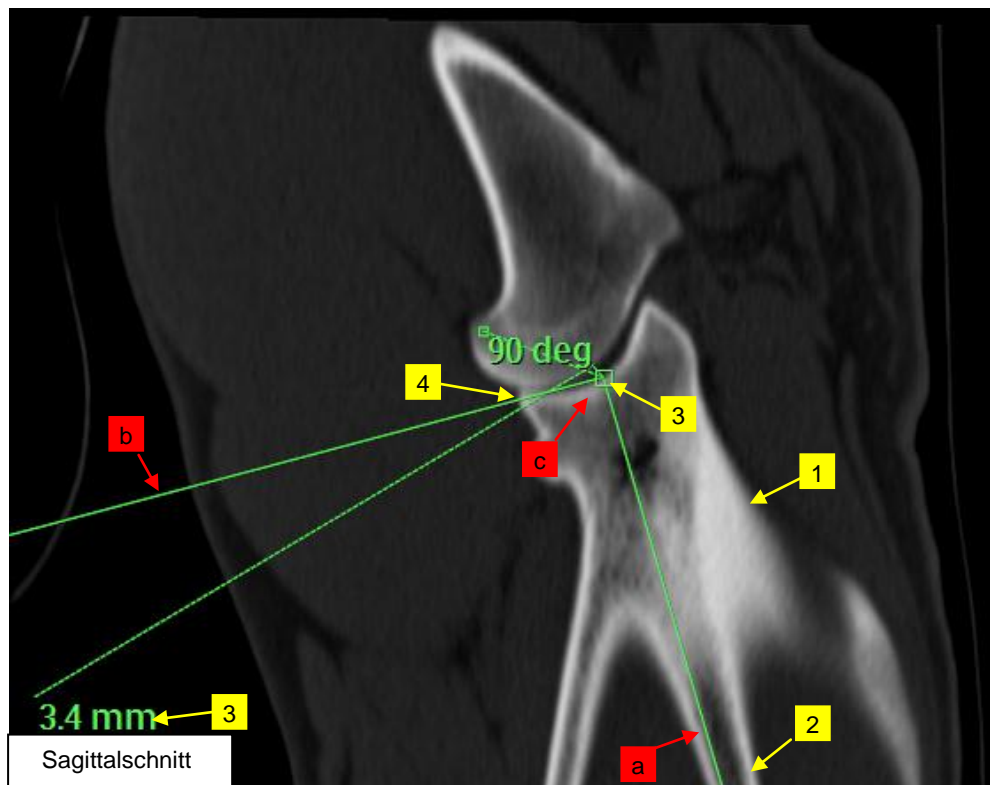


Abbildung 31: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Pfannenwinkels (1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; 4 = Tuberculum infraglenoidale; a = Gerade, die der Spina scapulae angelegt wird, endet im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; b = Gerade, die ihren Ursprung im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis hat und das Tuberculum infraglenoidale im Bereich der Cavitas glenoidalis tangiert; c = 90° Winkel, der im Schultergelenk von der Geraden (a) und (b) gebildet wird; die Messergebnisse werden in Grad ° (deg) angegeben)

Im nächsten Schritt wird eine Gerade (c) angelegt, die das Tuberculum supraglenoidale (1) der Cavitas glenoidalis tangiert und im Tuberculum infraglenoidale (2) der Cavitas glenoidalis und somit am Schnittpunkt der Geraden (c) mit der Geraden (b) endet (Abbildung 32).

Vom Endpunkt der Geraden (c) wird eine weitere Gerade (d) nach kranial gezogen, die sich als die Verlängerung der Geraden (b) verhält. Der gesuchte Winkel dieser Messung, ist der so entstandene Pfannenwinkel (e), der von der Geraden (c) und (d) gebildet wird.

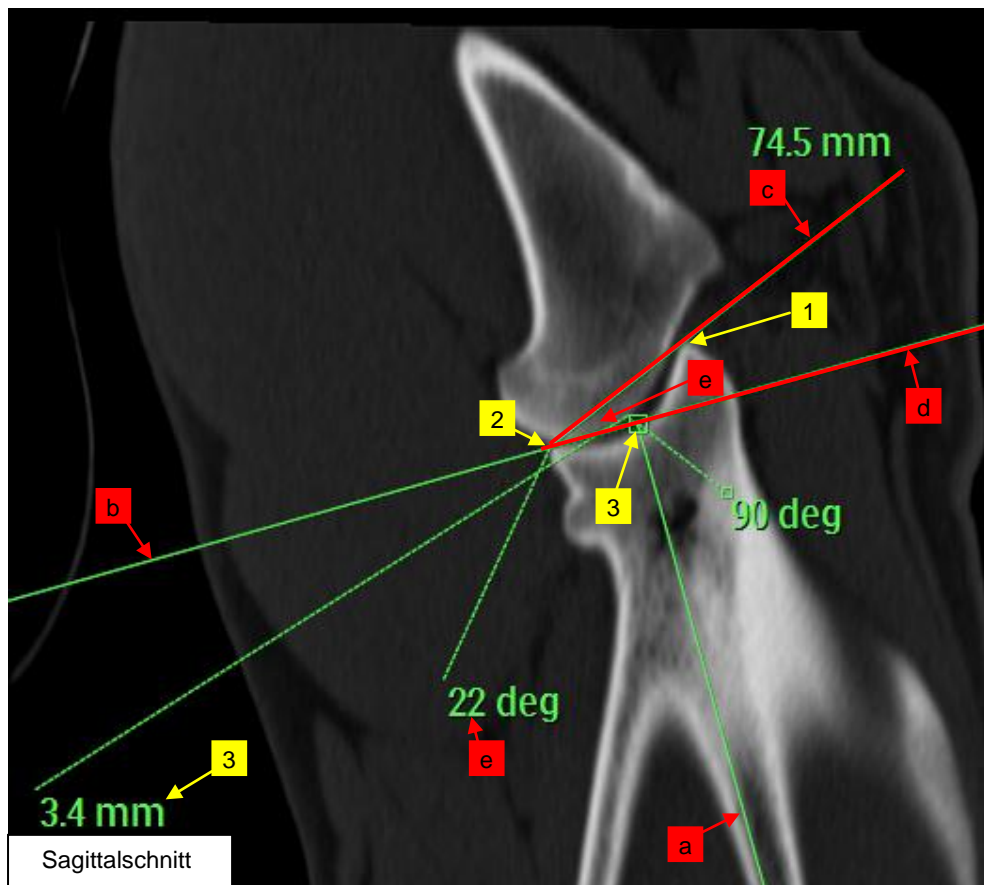


Abbildung 32: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Pfannenwinkels (1 = Tuberculum supraglenoidale der Cavitas glenoidalis; 2 = Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis; 3 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; a = Gerade, die der Spina scapulae angelegt wird, endet im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; b = Gerade, die ihren Ursprung im Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis hat und das Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis tangiert; c = Gerade, die das Tuberculum supraglenoidale der Cavitas glenoidalis tangiert und am Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis endet; d = Gerade, die am Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis ihren Ursprung hat und als Verlängerung zur Geraden (b) ausgerichtet wird und weiter nach kranial verläuft; e = Winkel der durch die Geraden (c) und (d) gebildet wird; Die Messergebnisse werden in Grad ° (deg) angegeben)

#### **Anmerkung zu der Messung:**

Diese Messung wird in Anlehnung an die Methode der „Messung der glenoidalen Retroversion“ vom Menschen ins Hundemodell übertragen (Walch et al., 1999; Friedman et al., 1992). Im Original wird eine Gerade (a) durch die Mittelachse des Schulterblattes gezogen, senkrecht zu dieser Geraden (a) wird eine weitere Gerade

(b) angelegt. Den Winkel der die „Retroversion des Glenoids“ wiedergibt, erhält man, indem eine weitere Gerade (c) angelegt wird, die den anterioren/kranialen und posterioren/kaudalen Rand der Glenoidfläche tangiert (Abbildung 20). Der Winkel wird somit von Geraden (c) und (b) gebildet.

Im vorliegenden Hundemodell wird die Mittelachse durch einen reproduzierbaren Fixpunkt, die Spina scapulae ersetzt (Abbildung 33).

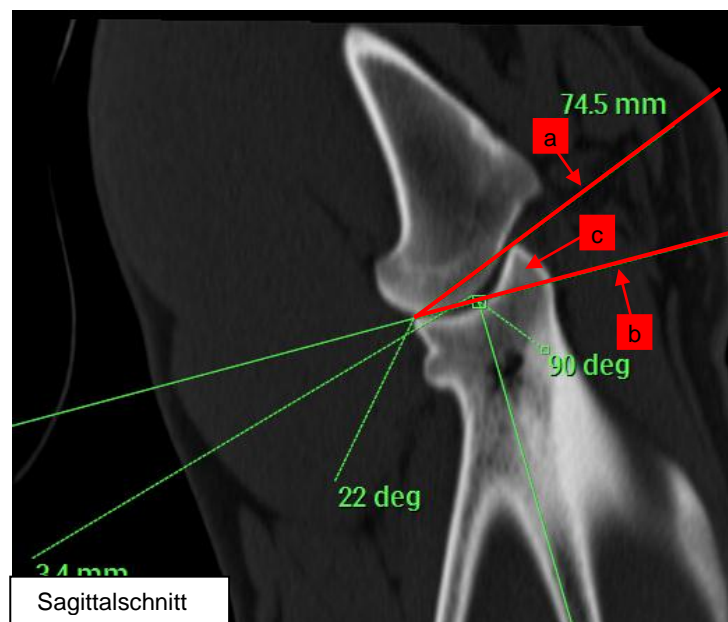


Abbildung 33: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Pfannenwinkels (a = Gerade, die das Tuberculum supraglenoidale der Cavitas glenoidalis tangiert und am Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis endet; b = Gerade, die am Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis ihren Ursprung hat; c = Winkel der durch die Geraden (a) und (b) gebildet wird)

### 3.) Messung der Länge des Humeruskopfes:

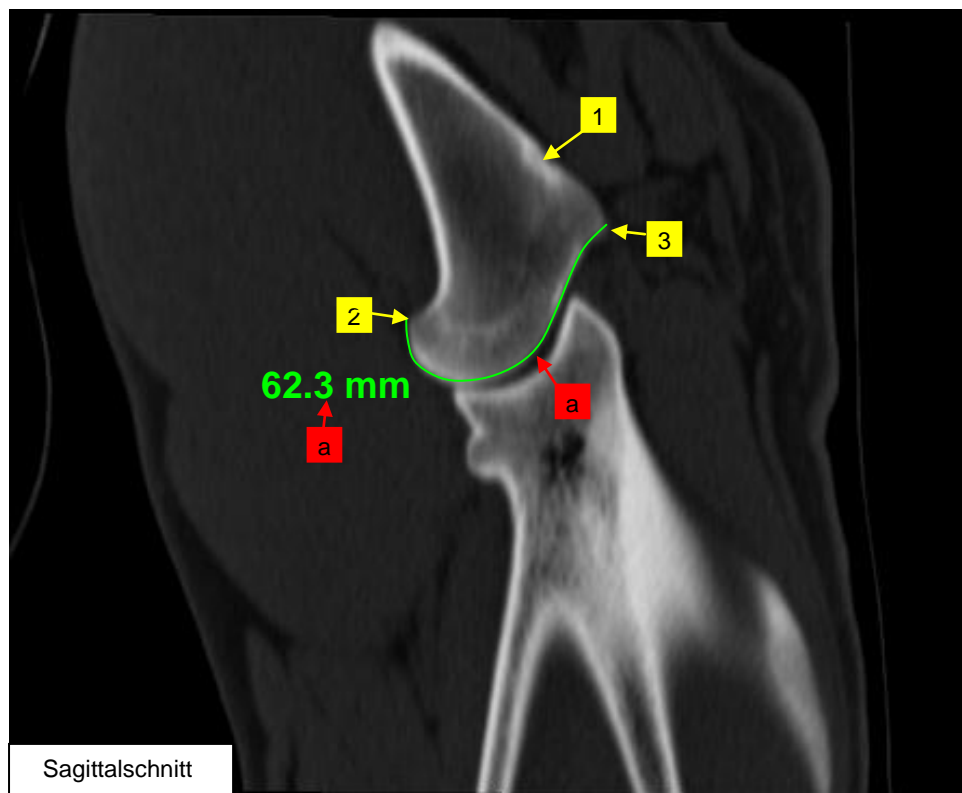
#### Ziel der Messung:

Diese Messung dient dazu, das Verhältnis der beiden aufeinandertreffenden Gelenkflächen (Humerusgelenkfläche und Cavitas glenoidalis der Skapula) festzuhalten. Mithilfe dieser Messung sollen Standardwerte für die Länge des Humeruskopfes gefunden werden.



*Messvorgang:*

Es wird die Strecke (a) vom kaudalen Ansatz des Caput humeri (2) dem Verlauf des Caput humeri in seiner Rundung folgend bis zum Ansatz des Tuberculum majus (3) angelegt und gemessen (Abbildung 34) (zur Längenmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2).



*Abbildung 34: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Humeruskopfes (a = Länge Humeruskopfes; 1 = Humerus; 2 = kaudaler Ansatz des Caput humeri; 3 = Ansatz des Tuberculum majus; die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)*

**Anmerkung zu der Messung:**

Der kaudale Ansatz des Caput humeri sowie der Ansatz des Tuberculum majus liefern die notwendigen Orientierungspunkte, die sich reproduzieren lassen. Zu beachten ist, dass die mittels dieser Messtechnik gewonnene Humeruskopflänge nicht nur der Gelenkfläche des Humeruskopfes entspricht, sondern bis zum Tuberculum majus reicht. Die vorliegende Technik macht es möglich definierte Meßpunkte einzusetzen.

#### **4.) Messung der Schultergelenkspaltweite:**

##### *Ziel der Messung:*

Ziel dieser Messung ist es Standardwerte für die Schultergelenkspaltweite und somit den Abstand zwischen Humeruskopf und Cavitas glenoidalis der Skapula im Schultergelenk zu bestimmen.

##### *Messvorgang:*

Für diese Messung wird an drei Punkten im Gelenk der Abstand der Gelenkfläche des Humerus zur Cavitas glenoidalis der Skapula mittels Streckenmessung erfasst (Abbildung 35).

Auf Höhe des am weitesten kaudal gelegenen Punktes der Cavitas glenoidalis (4) im Bereich des Tuberculum infraglenoidale wird senkrecht eine Gerade nach distal bis zur Gelenkfläche des Caput humeri gezogen und die Strecke (a) gemessen (zur Abstandmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2). Vom Mittelpunkt (5) der Cavitas glenoidalis ausgehend wird eine Gerade senkrecht nach distal bis zur Gelenkfläche des Caput humeri gezogen und die Strecke (b) gemessen. Vom kranialsten Punkt der Cavitas glenoidalis ausgehend, im Bereich des Tuberculum supraglenoidale wird eine zur Cavitas glenoidalis senkrechte Gerade nach distal bis zur Gelenkfläche des Caput humeri gezogen und die Strecke (c) gemessen.

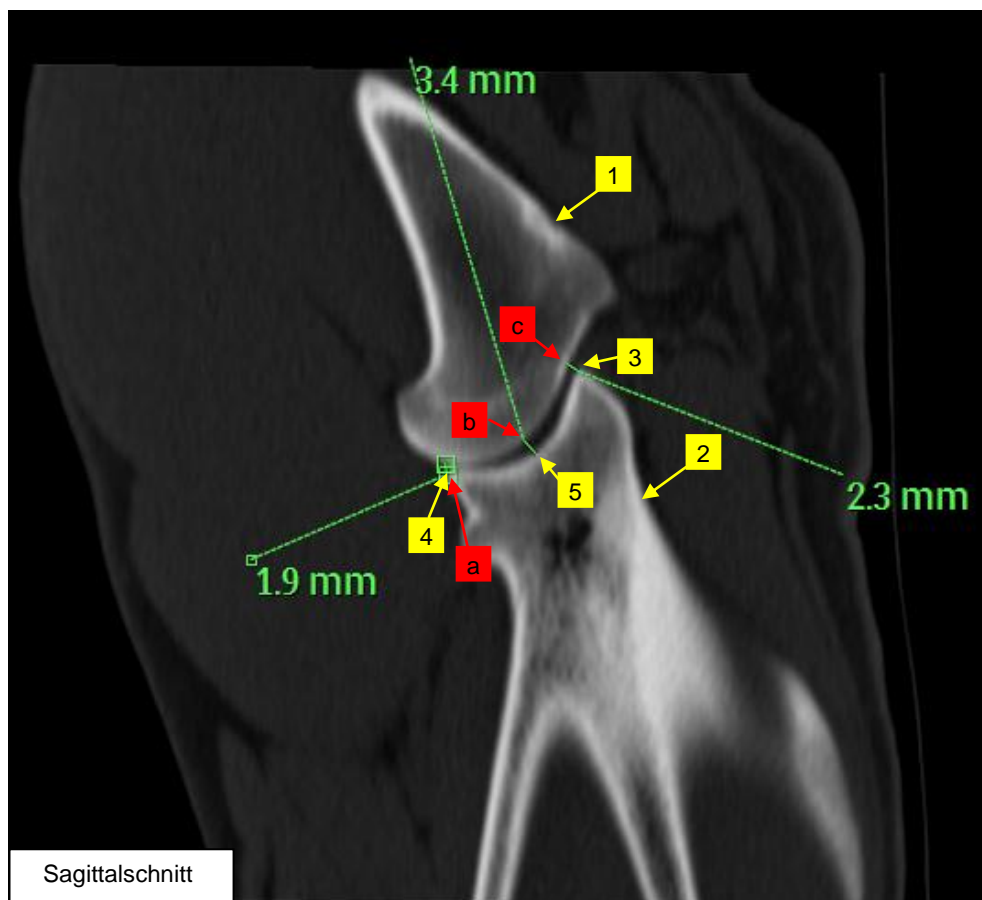


Abbildung 35: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Schultergelenkspaltweite (1 = Humerus; 2 = Skapula; 3 = Tuberculum supraglenoidale der Cavitas glenoidalis; 4 = Tuberculum infraglenoidale der Cavitas glenoidalis; 5 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; a = Strecke vom kaudalsten Punkt der Cavitas glenoidalis, dem Tuberculum infraglenoidale ausgehend, zur Gelenkkontur des Caput humeri ziehend; b = Strecke vom Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis ausgehend, zur Gelenkkontur des Caput humeri ziehend; c = Strecke vom kranialsten Punkt der Cavitas glenoidalis, dem Tuberculum supraglenoidale zur Gelenkkontur des Caput humeri ziehend; die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)

#### **Anmerkung zu der Messung:**

Der Ansatz des Tuberculum supraglenoidale und infraglenoidale bilden neben dem gemessenen Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis die zur Messung notwendigen Orientierungspunkte.

Diese Messung wird in Anlehnung an eine Messung des Gelenkspaltes aus der Humanmedizin entwickelt (Möller und Reif, 1998). Im Gegensatz zu dem Vorbild aus

der Humanmedizin wird hier die Messung an drei verschiedenen Punkten im Gelenk (kraniale, mittlere und kaudale Schultergelenkspaltweite) durchgeführt. Ein besonderes Augenmerk gilt der Einhaltung der Ausrichtung der Abstandsmessungen im senkrechten Verhältnis zur Cavitas glenoidalis.

### **5.) Flächen- und Dichtemessung des Humeruskopfes:**

#### *Ziel der Messung:*

Mit Hilfe dieser Messung sollen Standardwerte für die Fläche und die Dichte im Bereich des Humeruskopfes bestimmt werden.

#### *Messvorgang:*

Hierbei wird vom kaudalen Ansatz des Caput humeri (1) ausgehend eine Strecke angelegt, die wie in der „Messung der Länge des Humeruskopfes“ (3. Messung) der Kontur des Caput humeri folgt und am Ansatz des Tuberculum majus (2) endet (Abbildung 34). Im Unterschied zur 3. Messung werden die Punkte (1) und (2) durch eine Gerade verbunden und die Fläche (f) und die Dichte innerhalb dieses so entstandenen umgrenzten Areals gemessen (Abbildung 36) (zur Flächen- und Dichtemessung siehe 3.1.2.6 Punkt 3, 4).

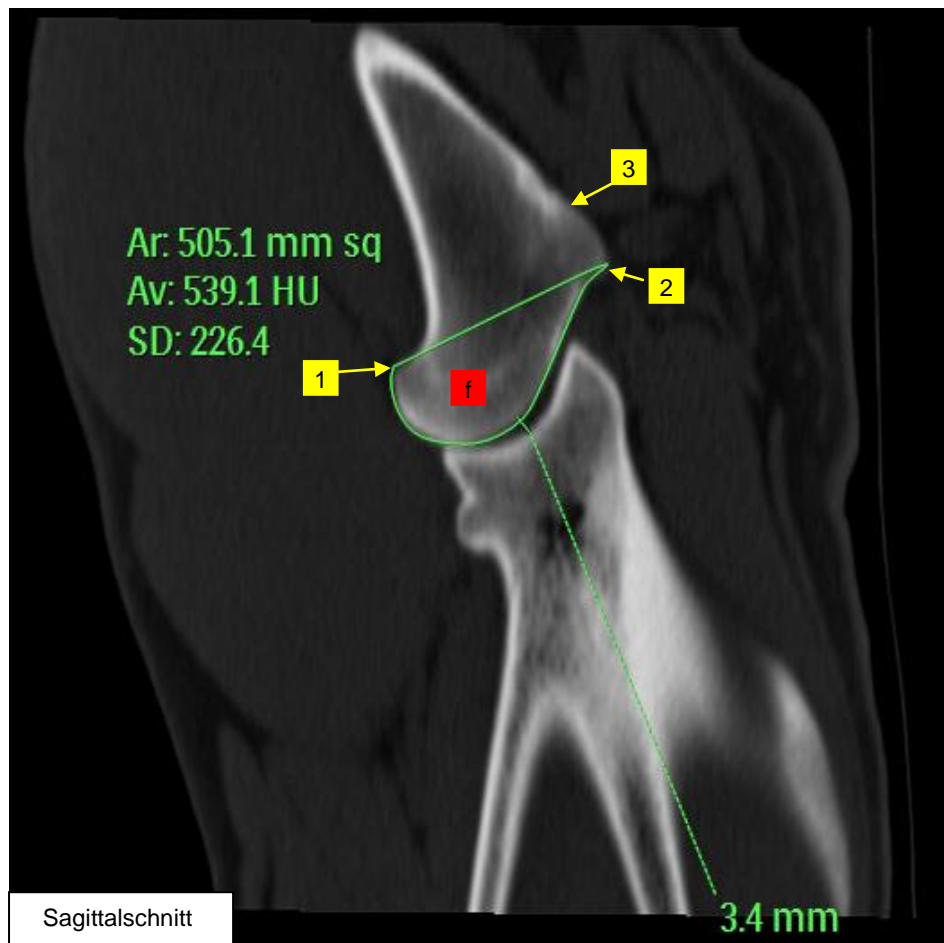


Abbildung 36: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen und Dichtemessung des Humeruskopfes (1 = kaudalster Punkt des Caput humeri; 2 = Ansatz des Tuberculum majus; 3 = Humerus; f = Fläche)

Mit Hilfe des Programms „Histogram“ der Philips Workstation kann man an der wie oben beschrieben, angelegten Fläche weitere Messwerte, wie den Flächenumfang gewinnen (Abbildung 37) (zu Histogramm siehe 3.1.2.6 Punkt 5).

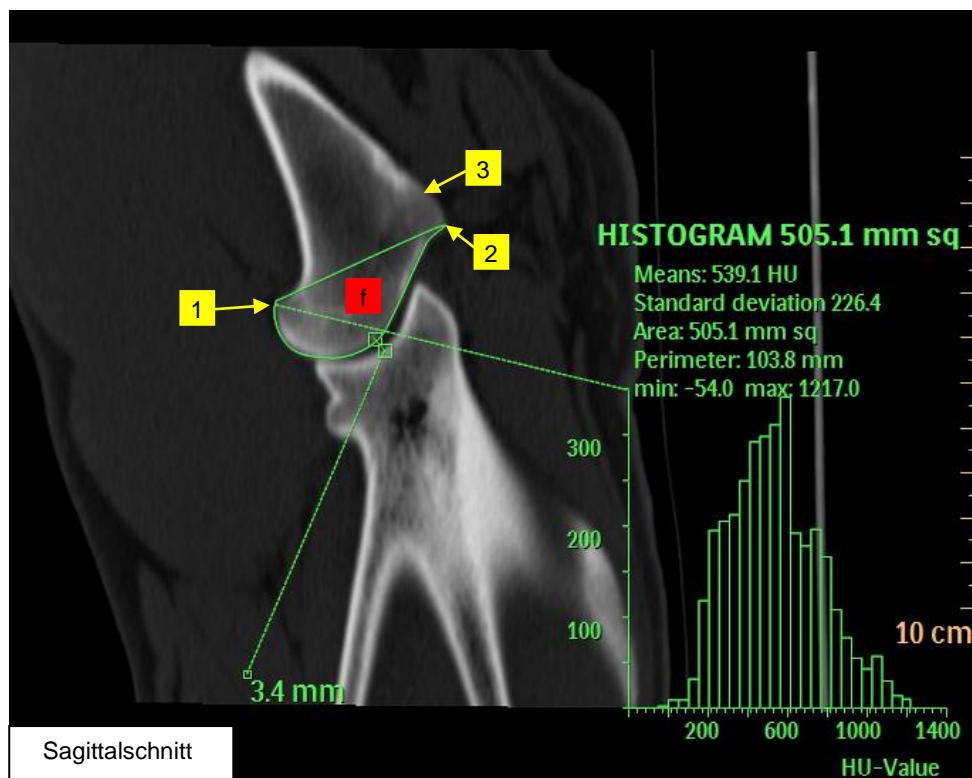


Abbildung 37: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen und Dichtemessung des Humeruskopfes (1 = kaudalster Punkt des Caput humeri; 2 = Ansatz des Tuberculum majus; 3 = Humerus; f = Fläche)

#### **Anmerkung zu der Messung:**

Die Messung der Dichteverhältnisse am sagittal orientierten Humeruskopf dient als Ergänzung der bereits existierenden Messungen in den Transversalschnitten (Eller, 2003). Miterfasst wird hier die Flächenmessung des proximalen Anteils des Humeruskopfes.

#### **6.) Flächen- und Dichtemessung der Humerusepiphyse:**

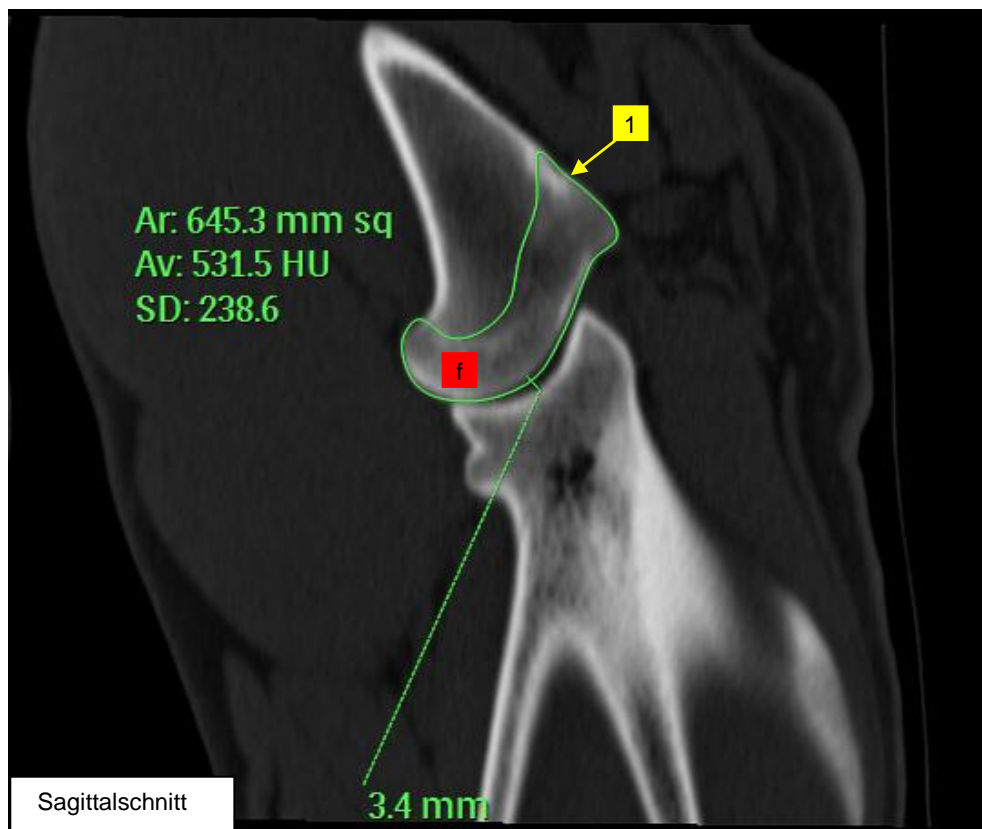
##### *Ziel der Messung:*

Es sollen Standardflächen- und Standarddichtewerte für die Humerusepiphyse im Sagittalschnitt bestimmt werden.

*Messvorgang:*

Bei dieser Messung wird eine Fläche (f) angelegt, bei der die Kontur des Humeruskopfes in Verbindung mit der Humeruskopfepiphysenfuge vollständig umfahren wird (Abbildung 38). Die somit neu entstandene Fläche dieses umgrenzten Areals wird gemessen (zur Flächen- und Dichtemessung siehe 3.1.2.6 Punkt 3, 4).

Bei dieser Messung werden die Grenzen der Fuge genutzt um eine fest umschriebene Fläche zu gewinnen.



*Abbildung 38: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung der Humerusepiphyse (1 = Humerus; f = Fläche)*

Mit Hilfe des Programms „Histogram“ der Philips Workstation kann man von der wie oben beschrieben, angelegten Fläche weitere Messwerte, wie den Flächenumfang gewinnen (Abbildung 39) (zu Histogramm siehe 3.1.2.6 Punkt 5).

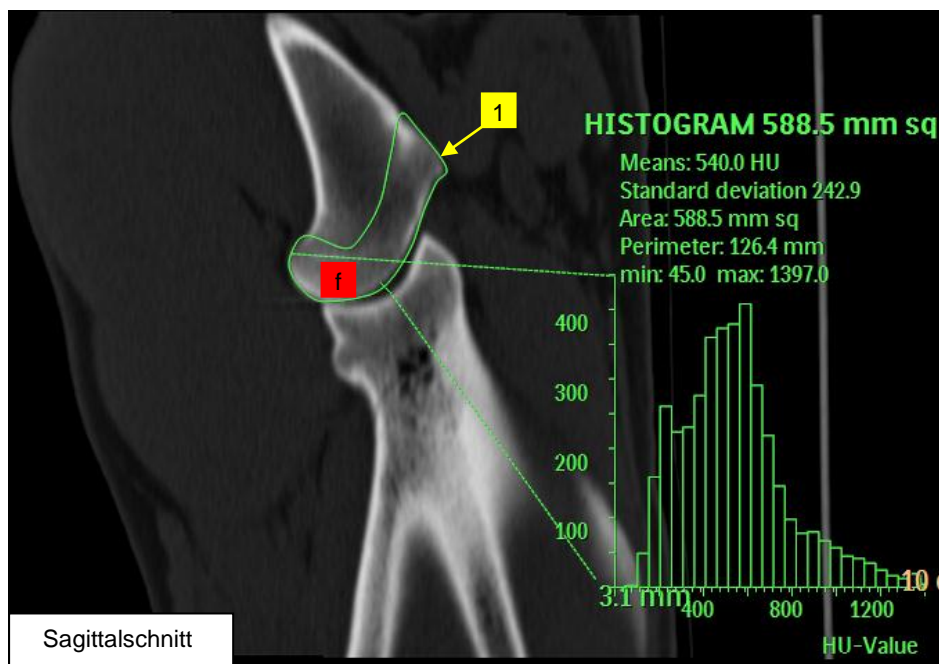


Abbildung 39: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung der Humerusepiphyse (1 = Humerus; f = Fläche)

**Anmerkung zu der Messung:**

Diese Messungen im Sagittalschnitt dienen dazu, die Dichteverhältnisse wie auch die Flächenverhältnisse der proximalen Humerusepiphyse zu verifizieren.

**7.) Flächenmessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes:**

**Ziel der Messung:**

Bei dieser Messung soll die Fläche von Bereichen erhöhter Knochendichte des subchondralen Knochens des Humeruskopfes erfasst werden.

**Messvorgang:**

Mit Hilfe entsprechender Software der Philips Workstation können verschiedene Dichtebereiche mit Hilfe von Falschfarben hervorgehoben werden (Abbildung 40) (zu Falschfarben siehe 3.1.2.6 Punkt 6). Bei den folgenden Messungen sollen nur dunkelrote Bereiche mit Hounsfield-Einheiten zwischen 1000-3000 HE beachtet werden.



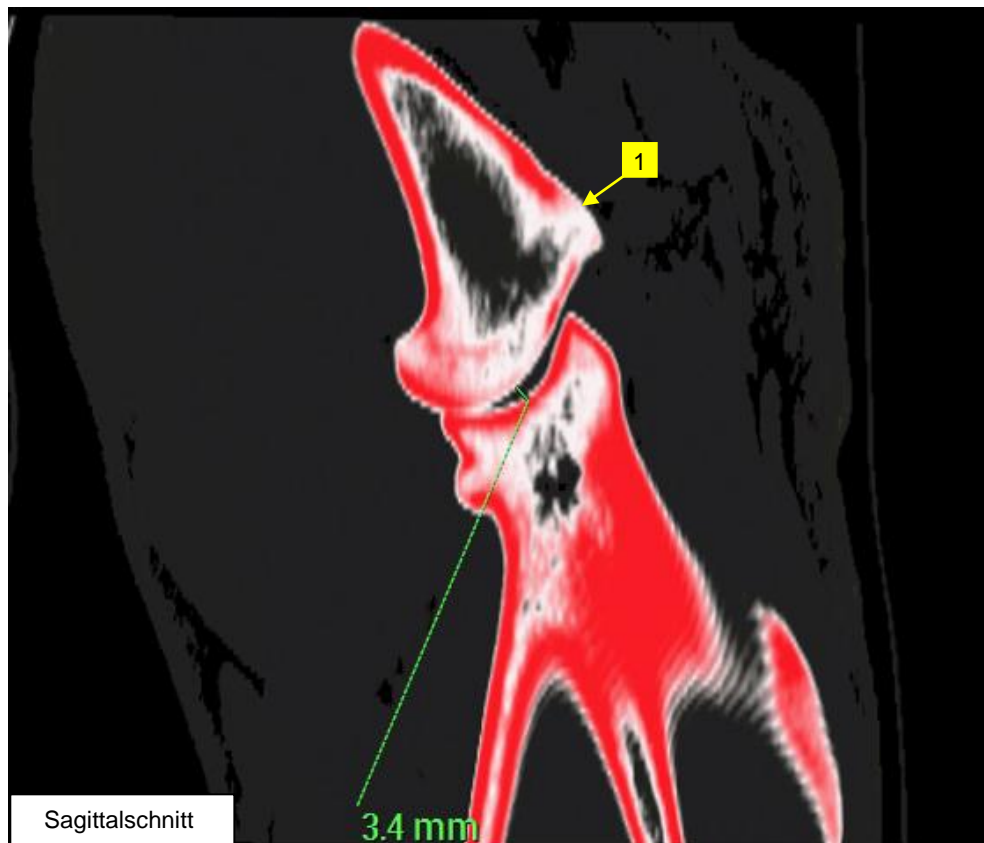


Abbildung 40 CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (1 = Humerus; rote Färbung der Knochenstruktur = Falschfarben, jedem Dichtewert wird ein roter Farbton zugeordnet; hierbei entsprechen hellere Rottöne niedrigen Dichtebereichen und dunklere Rottöne höheren Dichtebereichen)

Zunächst wird die Strecke zwischen dem kaudalen Ansatz des Caput humeri (3) bis zum Ansatz des Tuberculum majus (2) festgelegt und von diesen beiden Endpunkten aus der sich dunkelrot darstellende Knochen innerhalb des Humeruskopfes umfahren, so dass der Endpunkt (3) wieder erreicht werden kann und eine Fläche (f) entsteht (Abbildung 41) (zur Flächenmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 3).

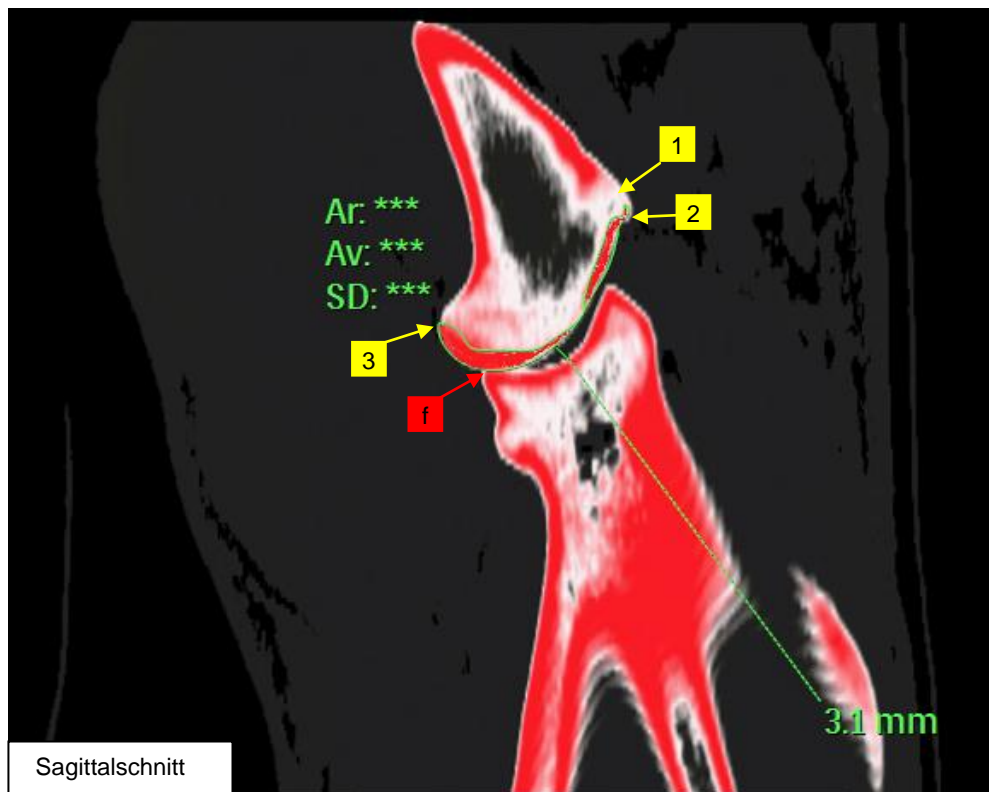


Abbildung 41: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (1 = Humerus; 2 = Ansatz des Tuberculum majus; 3 = kaudalster Punkt des Caput humeri; f = Fläche; rote Färbung der Knochenstruktur = Falschfarben, jedem Dichtewert wird ein roter Farbton zugeordnet; hierbei entsprechen hellere Rottöne niedrigen Dichtebereichen und dunklere Rottöne höheren Dichtebereichen)

Im nächsten Schritt werden die Falschfarben entfernt und die im herkömmlichen Schnitt bestehenden Messwerte der Fläche, die die subchondrale Knochenschicht des Caput humeri darstellt, kann abgelesen werden (Abbildung 42).

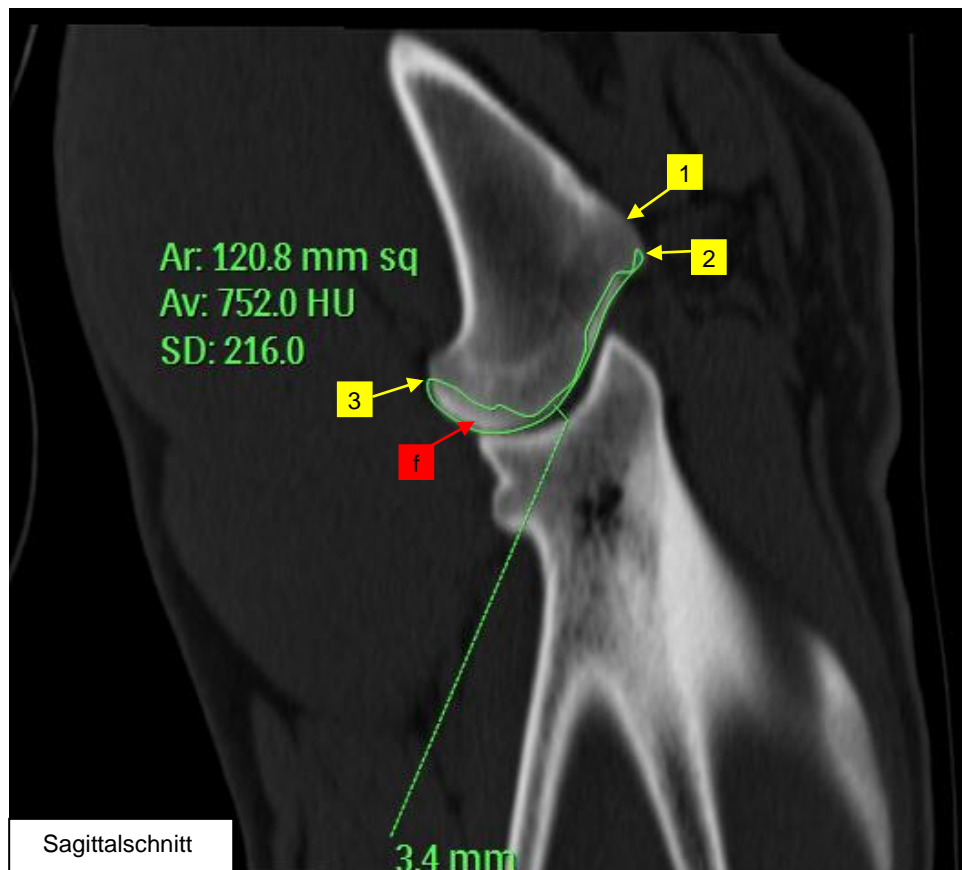


Abbildung 42: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (1 = Humerus; 2 = Ansatz des Tuberculum majus; 3 = kaudalster Punkt des Caput humeri; f = Fläche)

Mit Hilfe der Anwendung „Histogram“ der Philips Workstation kann man anhand der wie oben beschrieben angelegten Fläche weitere Messwerte, wie den Flächenumfang gewinnen (Abbildung 43) (zu Histogramm siehe 3.1.2.6 Punkt 5).

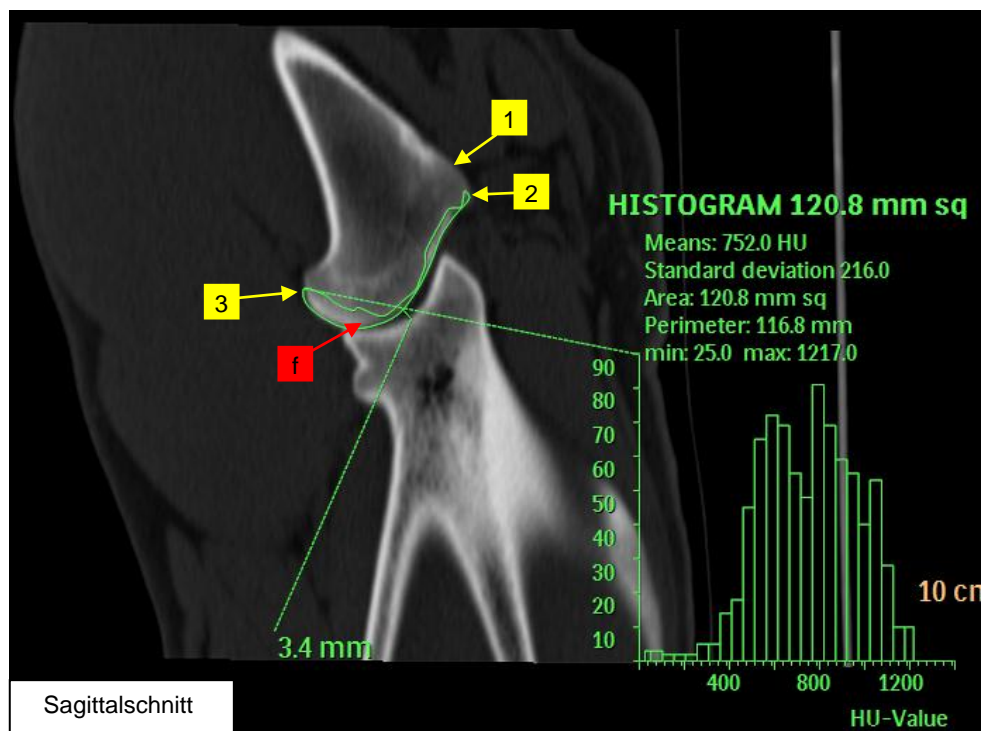


Abbildung 43: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Flächen- und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (1 = Humerus; 2 = Ansatz des Tuberculum majus; 3 = kaudalster Punkt des Caput humeri; f = Fläche)

#### **Anmerkung zu der Messung:**

Ziel dieser Messung ist es die Fläche des Bereichs mit der höchsten Dichteaussprägung des subchondralen Knochens im Bereich des Humeruskopfes zu erfassen und somit Informationen über die physiologische Dichte im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes zu gewinnen.

#### **8.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf:**

##### *Ziel der Messung:*

Mit Hilfe dieser Messung sollen Standardwerte für die Ausprägung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf bestimmt werden.

*Messvorgang:*

Für diese Messung wird die Dicke des subchondralen Knochens des Humeruskopfes gemessen (Abbildung 44) (zu Dickenmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2). Wie bei der vorherigen Messung können mit Hilfe entsprechender Software der Philips Workstation verschiedene Dichtebereiche mit Hilfe von Falschfarben hervorgehoben werden (zu Falschfarben siehe 3.1.2.6 Punkt 6). Die Dicke des subchondralen Knochens wird an drei verschiedenen Stellen gemessen. Für die Dickenmessung wird der am weitesten kranial gelegene Punkt (1) der Cavitas glenoidalis als Orientierungspunkt herangezogen. Auf gleicher Höhe wird von der Gelenkfläche des Caput humeri ausgehend, senkrecht nach distal hin die Dicke des sich rot darstellenden subchondralen Knochens gemessen.

Um die Dickenmessung (b) durchzuführen, dient der Mittelpunkt (2) der Cavitas glenoidalis als Orientierungspunkt und auf gleicher Höhe von der Gelenkfläche des Caput humeri ausgehend wird die Dicke des subchondralen Knochens senkrecht nach distal gemessen. Für die Dickenmessung (c) orientiert man sich am kaudalen Endpunkt (3) der Cavitas glenoidalis und kann auf gleicher Höhe am kaudalen Bereich des Humeruskopfes, von der Gelenkfläche des Caput humeri ausgehend die Dicke des subchondralen Knochens nach distal messen.

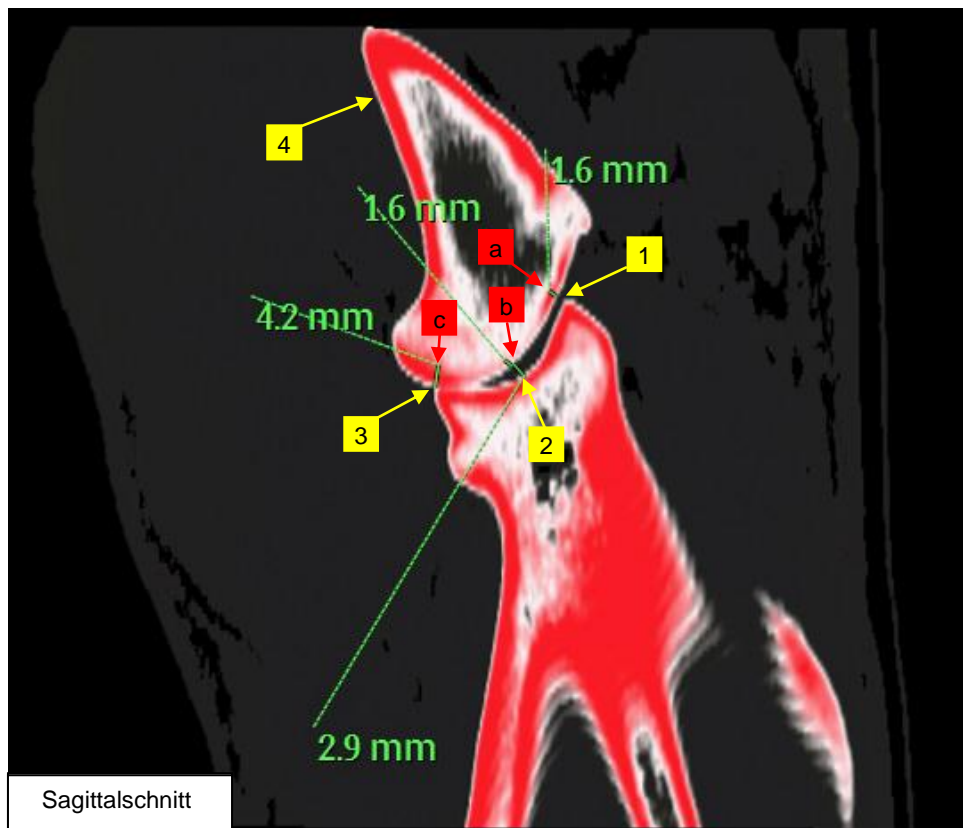


Abbildung 44: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Dickenmessung von Dichtemaxima im Bereich des subchondralen Knochens am Humeruskopf (1 = kranialste Punkt der Cavitas glenoidalis auf Höhe des Tuberculum supraglenoidale; 2 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; 3 = kaudalste Punkt der Cavitas glenoidalis auf Höhe des Tuberculum infraglenoidale; 4 = Humerus; a = Strecke auf Höhe des kranialsten Punktes der Cavitas glenoidalis am Humeruskopf ansetzend und senkrecht zu diesem nach distal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; b = Strecke auf Höhe des Mittelpunktes der Cavitas glenoidalis am Humeruskopf ansetzend und senkrecht zu diesem nach distal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; c = Strecke auf Höhe des kaudalsten Punktes der Cavitas glenoidalis am Humeruskopf ansetzend und senkrecht zu diesem nach distal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)

**Anmerkung zu der Messung:**

Ziel dieser Messung ist es die Normdickenausprägung von Bereichen erhöhter Dichte des subchondralen Knochens des Humeruskopfes zu erfassen.

**9.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis:**

*Ziel der Messung:*

Mit Hilfe dieser Messung sollen Standardwerte für die Ausprägung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis bestimmt werden.

*Messvorgang:*

Für diese Messung wird die Dicke des subchondralen Knochens der Cavitas glenoidalis gemessen (Abbildung 45) (zur Dickenmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2). Wie bei den vorherigen Messungen können mit Hilfe entsprechender Software der Philips Workstation verschiedene Dichtebereiche mit Hilfe von Falschfarben hervorgehoben werden (zu Falschfarben siehe 3.1.2.6 Punkt 6). Im Rahmen dieser Messung wird die Dicke des subchondralen Knochens an drei verschiedenen Stellen gemessen. Für die Dickenmessung (a) orientiert man sich an dem am weitesten kranial gelegenen Punkt (1) der Cavitas glenoidalis und kann auf gleicher Höhe von der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ausgehend, senkrecht nach proximal hin die Dicke messen. Um die Dickenmessung (b) durchzuführen, orientiert man sich am Mittelpunkt (2) der Cavitas glenoidalis und kann auf gleicher Höhe von der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ausgehend, senkrecht nach proximal hin die Dicke messen. Für die Dickenmessung (c) kann man sich am kaudalen Endpunkt (3) der Cavitas glenoidalis orientieren und auf gleicher Höhe am kaudalen Bereich des Humeruskopfes, von der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ausgehend, senkrecht nach proximal hin die Dicke messen.

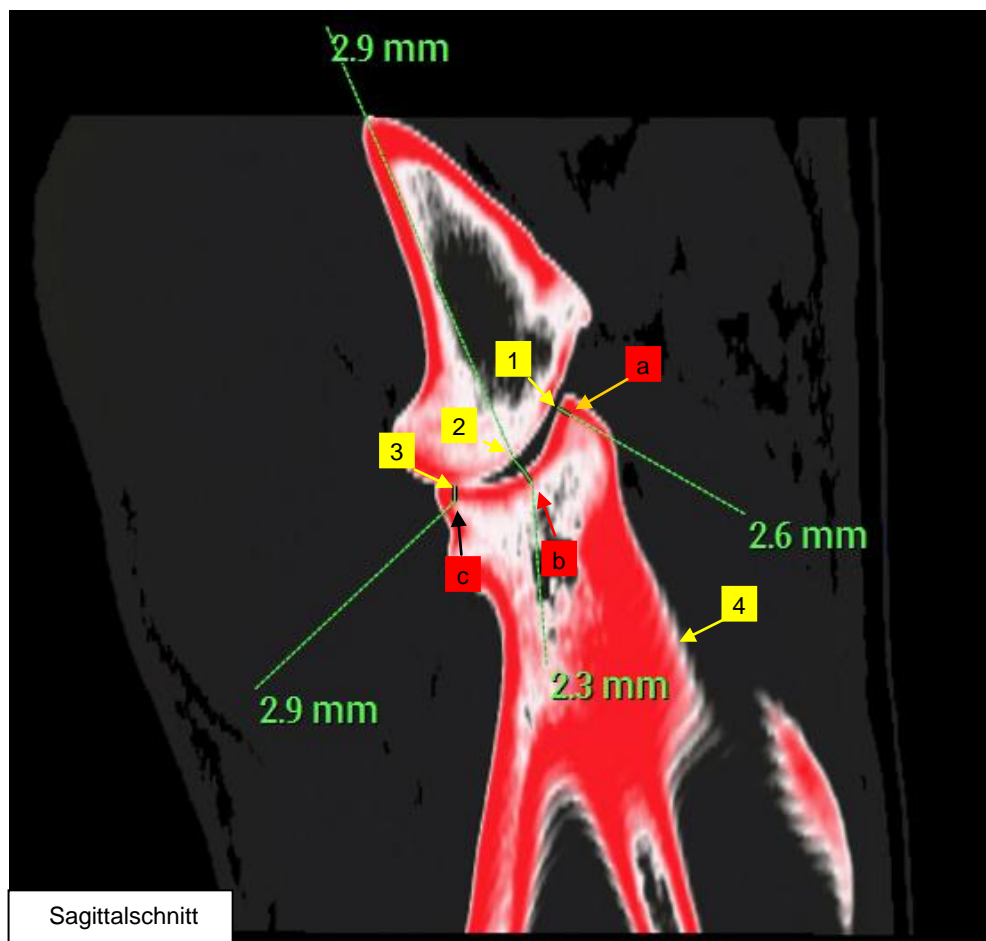


Abbildung 45: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis (1 = kranialster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale; 2 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; 3 = kaudalster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale; 4 = Skapula; a = Strecke auf Höhe des kranialsten Punktes der Cavitas glenoidalis an der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ansetzend und zu dieser senkrecht nach proximal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; b = Strecke auf Höhe des Mittelpunktes der Cavitas glenoidalis an der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ansetzend und zu dieser senkrecht nach proximal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; c = Strecke auf Höhe des kaudalsten Punktes der Cavitas glenoidalis an der Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis ansetzend und zu dieser senkrecht nach proximal ziehend bis zum Ende des dunkelroten Saumes; die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)



***Anmerkung zu der Messung:***

Ziel dieser Messung ist es die Dickenausprägung im Bereich des subchondralen Knochens der Cavitas glenoidalis zu erfassen.

***10.) Messung der Fläche und Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula:***

*Ziel der Messung:*

Mit Hilfe dieser Messungen sollen Standardwerte für die Dichte und die Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula gefunden werden.

*Messvorgang:*

Für diese Messung wird vom kranialen Ansatz der Cavitas glenoidalis (1) ausgehend eine Strecke angelegt, die dem Verlauf der Cavitas glenoidalis bis zum kaudalsten Punkt (2) der Cavitas glenoidalis folgt und dann der kaudalen Kontur der Skapula weiter folgt, bis zu dem Punkt (4), wo die kaudale Kontur der Skapula anfängt von dem Verlauf der Spina scapulae zu divergieren (Abbildung 46). Von diesem Punkt (4) aus zieht man eine Gerade zur kranialen Kontur (3) der Skapula, wo die Kontur ebenfalls von dem Verlauf der Spina scapulae zu divergieren beginnt.

Nun verbindet man Punkt (3) mit Punkt (1) und misst die Fläche (a) innerhalb dieses so entstandenen umgrenzten Areals (zur Flächen- und Dichtemessung siehe 3.1.2.6 Punkt 3, 4).

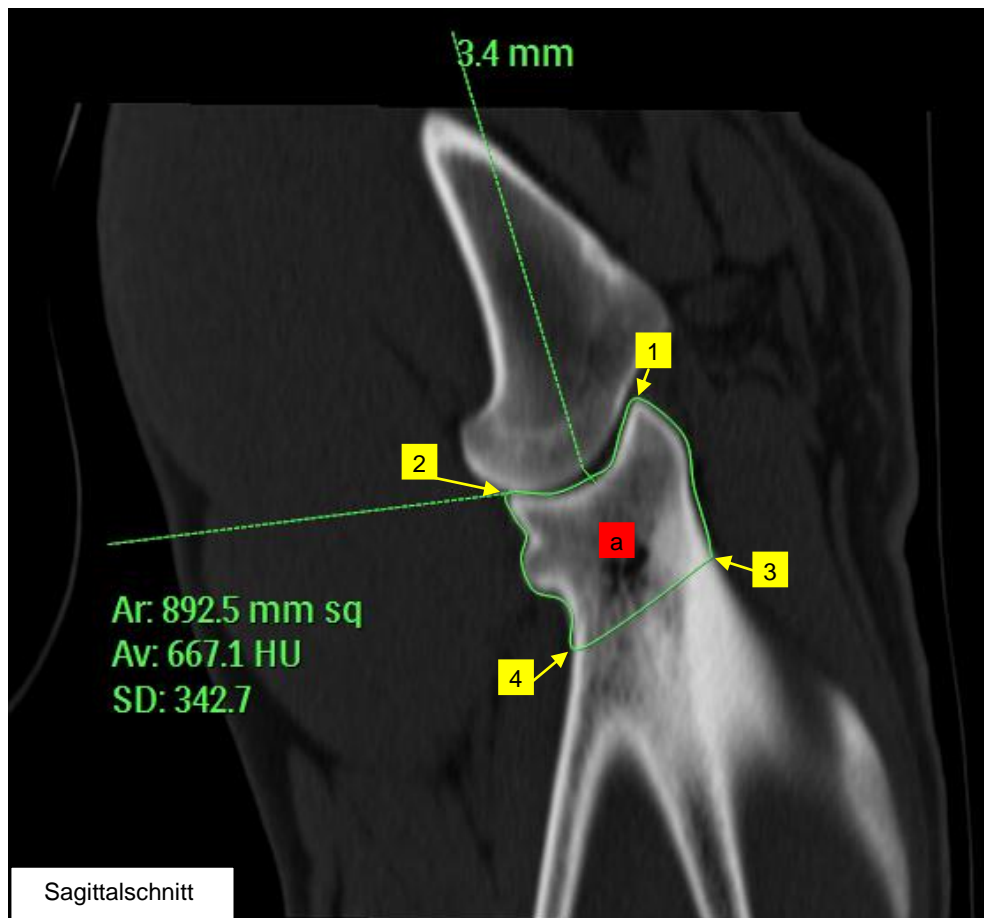


Abbildung 46: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Fläche und Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula (1 = kranialster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale; 2 = kaudalster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale; 3 = divergierender Punkt der kranialen Kontur der Skapula; 4 = divergierender Punkt der kaudalen Kontur der Skapula; a = Fläche des distalen Skapulabereichs)

Mit Hilfe des Programms „Histogram“ der Philips Workstation kann man an der wie oben beschrieben, angelegten Fläche weitere Messwerte, wie den Flächenumfang gewinnen (Abbildung 47) (zu Histogramm siehe 3.1.2.6 Punkt 5).

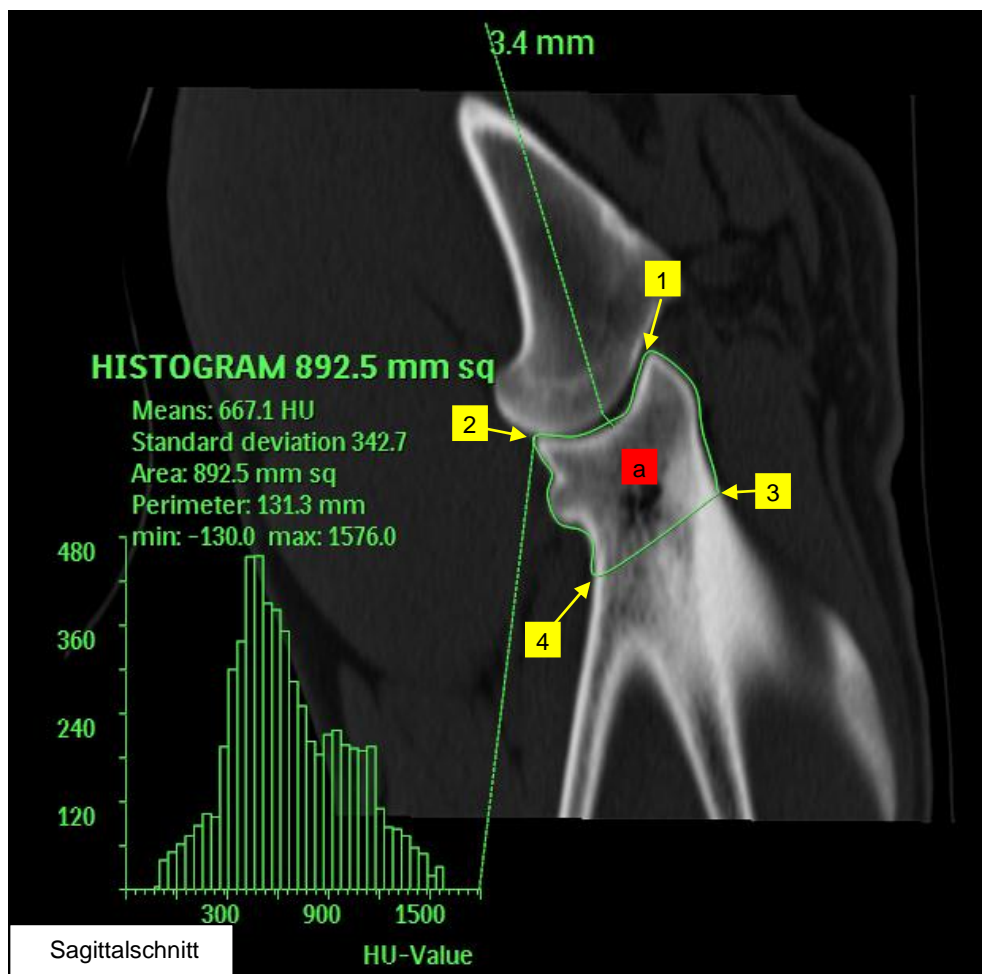


Abbildung 47: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Fläche und Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula (1 = kranialster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale; 2 = kaudalster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale; 3 = divergierender Punkt der kranialen Kontur der Skapula; 4 = divergierender Punkt der kaudalen Kontur der Skapula; a = Fläche des distalen Skapulabereichs)

### 11.) Messung des kraniokaudalen Abstandes und der Tiefe der Cavitas glenoidalis:

#### Ziel der Messung:

Mit Hilfe dieser Messung sollen Standardwerte für die Tiefe und den Abstand der Cavitas glenoidalis gefunden werden. Die Tiefe und der kraniokaudale Abstand der Cavitas glenoidalis machen zusammen die Konkavität der Gelenkpfanne aus.

*Messvorgang:*

Bei dieser Messung legt man eine Gerade zwischen dem kranialsten Punkt der Cavitas glenoidalis (1) im Bereich des Tuberculum supraglenoidale und dem kaudalsten Punkt der Cavitas glenoidalis (2) im Bereich des Tuberculum infraglenoidale an und misst diese Strecke (a) (Abbildung 48) (zur Abstandmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2). Von dem Mittelpunkt (3) dieser Strecke (a) ausgehend, zieht man nun eine senkrechte Gerade bis zum Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis und misst die so entstandene Strecke (b), die die Verlängerung des Mittelpunktes der Cavitas glenoidalis darstellt.

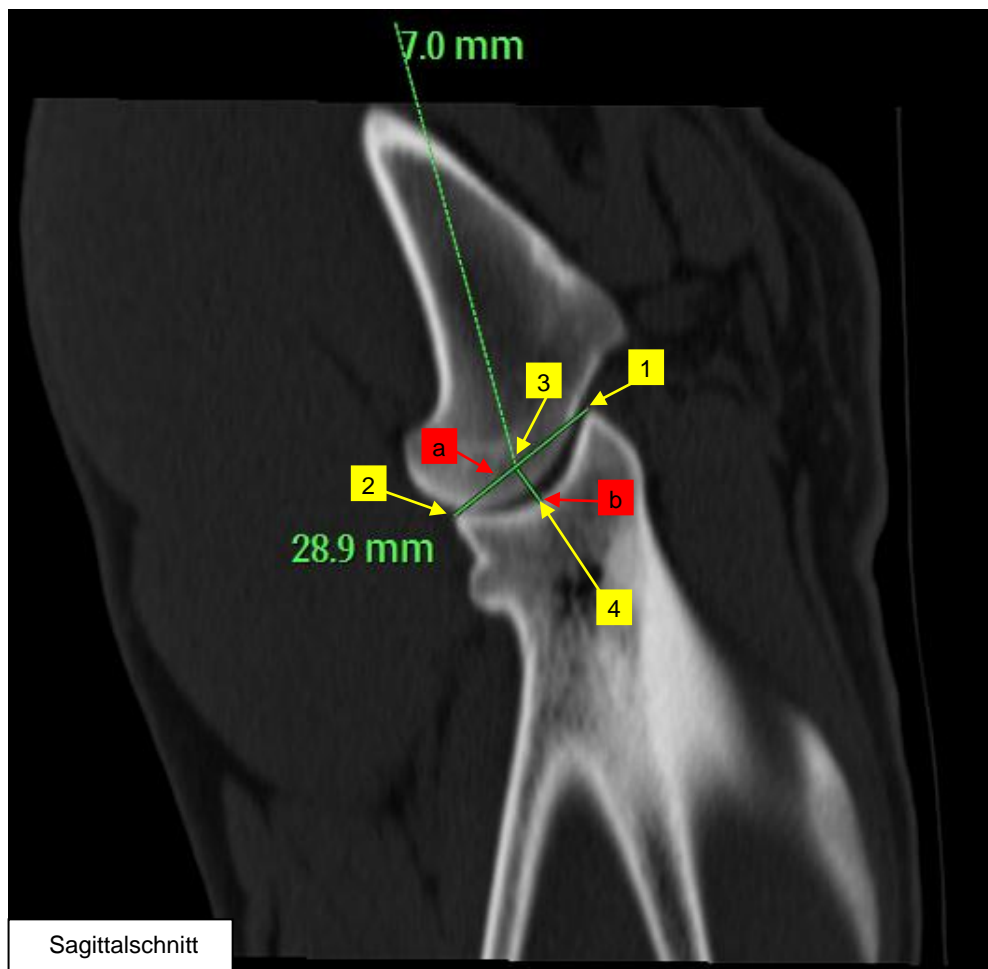


Abbildung 48: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung des Abstandes und der Tiefe der Cavitas glenoidalis (1 = kranialster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale; 2 = kaudalster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale; 3 = Mittelpunkt der Strecke (a); 4 = Mittelpunkt der Cavitas glenoidalis; a = kraniokaudaler Abstand, Verbindung zwischen (1)

und (2);  $b$  = Tiefe der Cavitas glenoidalis, Verbindung zwischen (3) und (4); die Messergebnisse werden in Millimetern (mm) angegeben)

**Anmerkung zu der Messung:**

Für diese Messung dieht die Messung des „anterior-posterioren Durchmessers im Sagittalschnitt“, sowie die Messung der „Glenoidtiefe/Konkavität“ als Vorlage (Strewe, 2009), die hier adäquat ins Hundemodell umgesetzt werden kann. In der Humanmedizin dient diese Messung zur präoperativen Planung im Bereich der Endoprothetik (Strewe, 2009).

Anhand des Tuberculum supraglenoidale und infraglenoidale können reproduzierbare Orientierungspunkte festgelegt werden. Somit kann eine Vereinheitlichung der Messung eingeführt werden. Diese Messung erfasst die Konkavität des Gelenkes.

**12.) Messung der Länge der Cavitas glenoidalis:**

*Ziel der Messung:*

Anhand dieser Messung sollen Standardwerte für die Länge der Cavitas glenoidalis gefunden werden. Zusammen mit der „Messung der Länge des Humeruskopfes“ (3. Messung) soll so das Verhältnis der beiden aufeinander treffenden Gelenkflächen verifiziert werden. Eine zu kleine Cavitas glenoidalis führt zu Verlusten der Passgenauigkeit des Gelenkes. Physiologisch ist bereits ein Ungleichgewicht zwischen der Fläche des Humeruskopfes und der Cavitas glenoidalis gegeben (4:1) (Bardet et al., 1998).

*Messvorgang:*

Diese Messung entspricht der „Messung der Länge der Cavitas glenoidalis“ (Messung) (Abbildung 27), die bereits bei den Grundeinstellungen festgelegt wurde. Für diese Messung wird vom kranialsten Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale (5) ausgehend, die Kontur der Cavitas glenoidalis nach kaudal hin verfolgt, bis zum kaudalsten Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale (6) und die so gefundene Strecke (a)

gemessen (Abbildung 49) (zur Längenmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2). Das Tuberculum supraglenoidale sowie das Tuberculum infraglenoidale dienen als Orientierungspunkte, die sich von Patient zu Patient reproduzieren lassen.

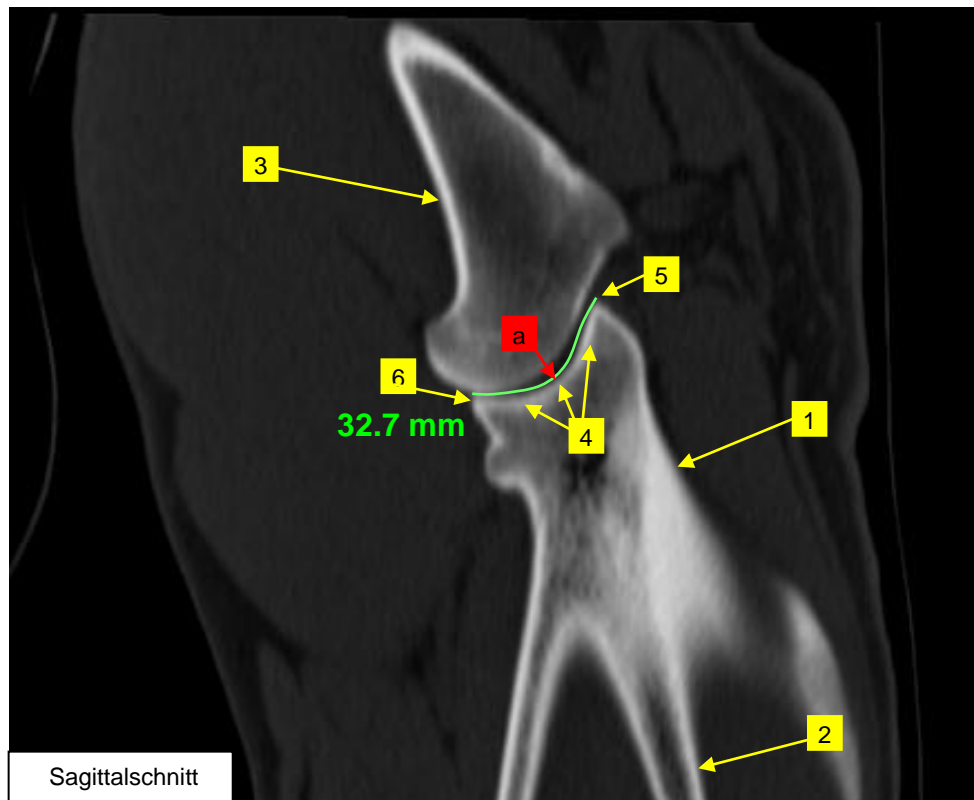


Abbildung 49: CT-Aufnahme im Sagittalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Länge der Cavitas glenoidalis (1 = Skapula; 2 = Spina scapulae; 3 = Humerus; 4 = Cavitas glenoidalis; 5 = kranialster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum supraglenoidale; 6 = kaudalster Punkt der Cavitas glenoidalis im Bereich des Tuberculum infraglenoidale; a = Strecke zwischen Punkt (5) und (6); die Messergebnisse werden in Millimeter (mm) angegeben)

**Anmerkung zu der Messung:**

Sinn dieser Messung ist es ein Verhältnis der beiden aufeinander treffenden Gelenkflächen (Humerusgelenkfläche und Cavitas glenoidalis der Skapula) verifizieren zu können und somit durch gefundene Standardwerte einen Zusammenhang zu Pathologien stellen zu können.

**b.) Grundeinstellung der CT- Schnitte für Messung (13):**

*1.) Ausgangsposition:*

Im großen linken Bildquadranten befindet sich die transversale Ebene, der obere rechte Bildquadrant gibt die dorsale Ebene wieder und der untere rechte Bildquadrant gibt die sagittale Ebene wieder (Abbildung 50).

Jede Ebene wird in den beiden anderen Ebenen durch eine Gerade in der jeweiligen Farbe dargestellt (z.B. grüne Gerade im Transversalschnitt entspricht der dorsalen Ebene, die blaue Gerade entspricht im Transversalschnitt der sagittalen Ebene usw.).

In der Dorsalebene wird die sagittale/blaue Gerade deckungsgleich/parallel zum Verlauf der Skapula und des Humerus ausgerichtet. Die transversale/rote Gerade im Dorsalschnitt wird auf die Höhe des proximalen Humerusanteils ausgerichtet.

In der Sagittalebene wird die transversale/rote Gerade (die hier diagonal durchs Bild verläuft) so gedreht, dass sie sowohl das Tuberculum supra- wie auch infraglenoidale im Bereich der Cavitas glenoidalis tangiert.

In der Transversalebene, muss der Schnitt so ausgerichtet werden, dass das Tuberculum supraglenoidale der Schulter nicht mehr sichtbar ist und ein gut begrenzter Sulcus intertubercularis vorliegt und der Sulcus intertubercularis somit mit seiner maximalsten Ausdehnung sichtbar ist.

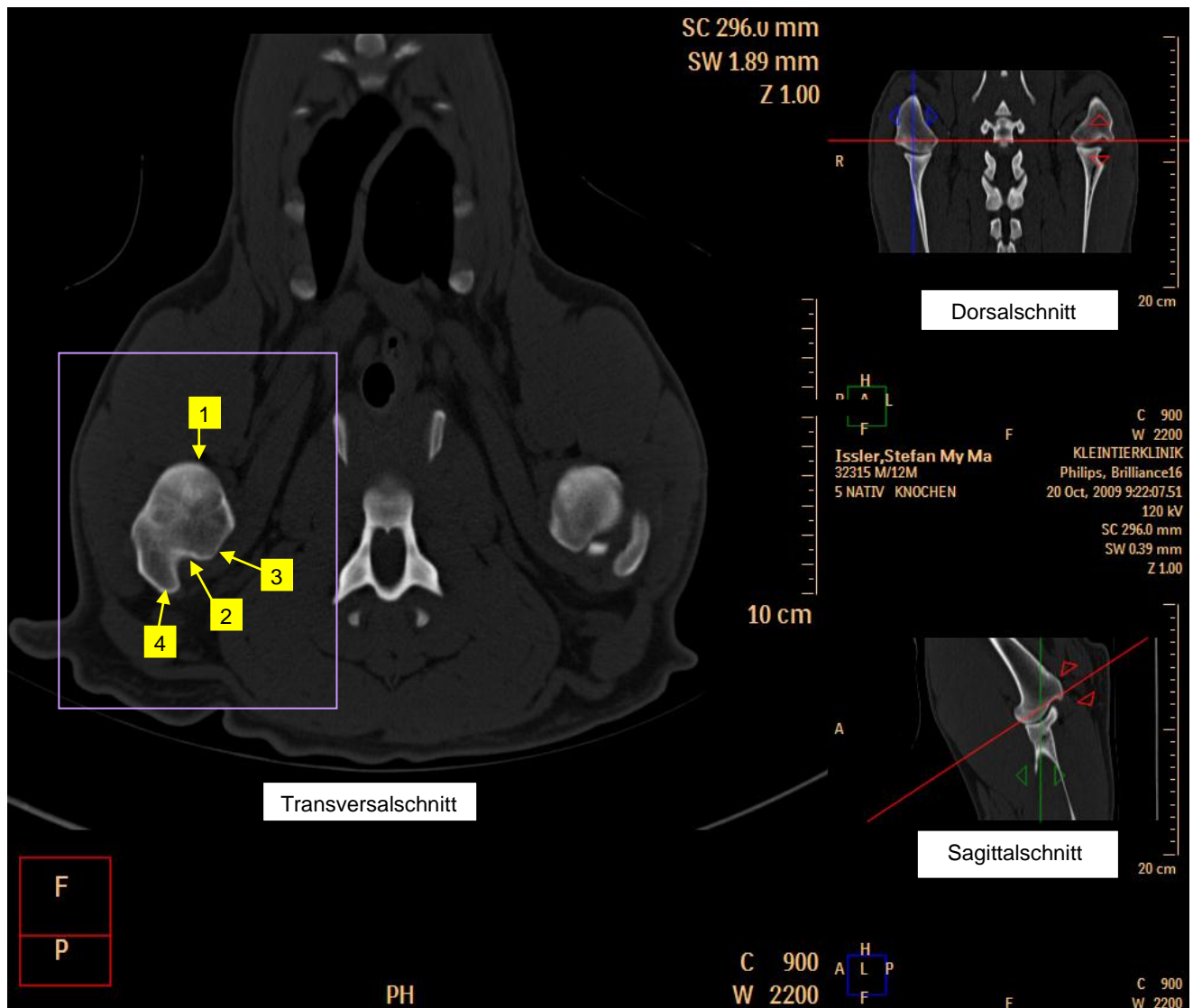


Abbildung 50: CT-Aufnahmen in allen 3 Ebenen, Schulter in Extensionsstellung: Ausrichtung des Schultergelenks (blaue Gerade = repräsentiert die sagittale Ebene; grüne Gerade = repräsentiert die dorsale Ebene; rote Gerade = repräsentiert die transversale Ebene; 1 = kaudaler Humeruskopfbereich; 2 = Sulcus intertubercularis; 3 = Tuberculum minus des Humerus; 4 = Tuberculum majus des Humerus; lila Quadrat = zu untersuchende Schulter, die anhand der 3 Ebenen optimal eingestellt wurde)

### b) Messungen im Transversalschnitt

Die Messung der Tiefe und des Abstandes des Sulcus intertubercularis (13. Messung) wird im Transversalschnitt gemessen.



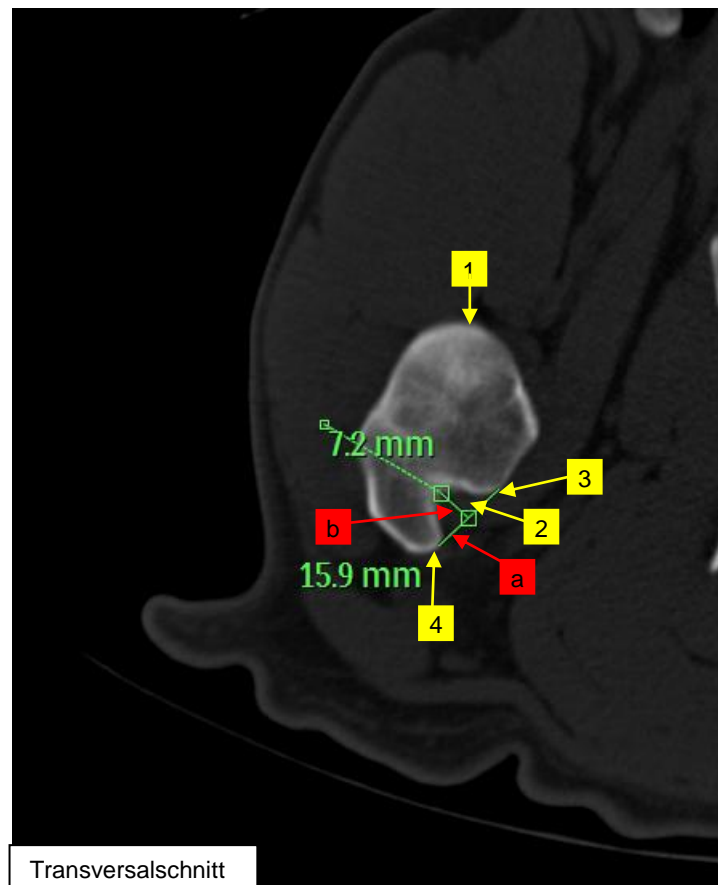
**13.) Messung der Tiefe und des Abstandes des Sulcus intertubercularis:**

*Ziel der Messung:*

Mit Hilfe dieser Messung soll die Tiefe und der Abstand und somit die Konkavität des Sulcus intertubercularis erfasst werden.

*Messvorgang:*

Gemessen wird der Abstand (a) zwischen Tuberculum minus (3) und Tuberculum majus (4) (Abbildung 51) sowie der Abstand von dem Mittelpunkt der Strecke (a) bis zum tiefsten Punkt des Sulcus intertubercularis (2) (zur Abstandmessung siehe 3.1.2.6 Punkt 2).



*Abbildung 51: CT-Aufnahme im Transversalschnitt, Schulter in Extensionsstellung: Messung der Tiefe und des Abstandes des Sulcus intertubercularis (1 = kaudaler Humeruskopfbereich; 2 = Sulcus intertubercularis; 3 = Tuberculum minus des Humerus; 4 = Tuberculum majus des Humerus; a = Abstand des Sulcus intertubercularis, entsteht durch die Verbindung von (3) und (4); b = Tiefe des Sulcus intertubercularis, entsteht durch die Verbindung der tiefsten Stelle des Sulcus intertubercularis mit dem Mittelpunkt von (c); die Messergebnisse werden in Millimeter (mm) angegeben)*

**Anmerkung zu der Messung:**

In der Humanmedizin wird die Tiefe des Sulcus intertubercularis gemessen (Cone et al., 1983).

Die Tuberculi majus und minus stellen Orientierungspunkte dar, die sich von Patient zu Patient reproduzieren lassen. Sinn dieser Messung ist es das Ausmaß des Sulcus intertubercularis zu erfassen und durch die gefundenen Standardwerte Hinweise für das Vorliegen von Pathologien oder Prädispositionen für Pathologien im Bereich der Bicepssehne und seines Verlaufs zu erlangen.

### **3.2 Wiederholbarkeitsstudie**

Zur Überprüfung der Wiederholbarkeit der Messungen am Schultergelenk wurden 50 Schultergelenke von insgesamt 25 Patienten doppelt gemessen, ohne die zuvor ermittelten Werte zu kennen. Tabelle 50 im Anhang zeigt die Ergebnisse der Wiederholungsmessung. Die Differenzen können durch geringgradige Abweichungen in der standardisierten Lagerung sowie Abweichungen in der Grundeinstellung für den Schnitt, an dem gemessen wird, hervorgerufen werden (Tabelle 50).

### 3.3 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden unter Verwendung des Statistikprogrammpakets BMDP/Dynamic, Release 8.1, (DIXON, 1993) durchgeführt. Die Ergebnisse wurden als arithmetischer Mittelwert mit Standardabweichung, Minima und Maxima berechnet.

Es wurde eine allgemeine Datenbeschreibung mit dem Programm BMDP1D durchgeführt.

Die Daten der Patienten wurden mit dem Programm BMDP2V einer dreifaktoriellen Kovarianzanalyse (mit Messwiederholungen bezüglich der Seite) auf die Einflussfaktoren Geschlecht, Rasse, Körpergewicht, Alter und Seite unterzogen.

Weiterhin wurde eine vierfaktorielle Kovarianzanalyse (mit Messwiederholungen bezüglich Seite und Lokalisation) auf Einflussfaktoren Geschlecht, Rasse, Körpergewicht, Alter, Lokalisation und Seite durchgeführt.

Es wurde eine zweidimensionale Häufigkeitsauszählung durchgeführt mit Hilfe von BMDP4F.

Zur statistischen Prüfung der Beziehung zwischen jeweils dem Alter/Gewicht, rechte/linke Seite und den Messgrößen wurden mit dem Programm BMDP6D Punktwolken/Korrelationsdiagramme erzeugt.

Bei der Bewertung der statistischen Signifikanzen wurde das Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$  zugrunde gelegt, d.h. Ergebnisse mit  $p \leq 0,05$  wurden als statistisch signifikant angesehen. Zusätzlich wird der exakte p-Wert angegeben.

Weiterhin wurde ein Pearson Chi-Quadrat-Test durchgeführt, der die Merkmale Rasse und Geschlecht auf eine Abhängigkeit überprüft. Hierbei zeigt sich mit einer Prüfgröße von 0,107, also einem Wert von  $X^2 > 0$  eine Unabhängigkeit der beiden Merkmale voneinander.

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Deskriptive Statistik**

#### **4.1.1 Patientengut**

Es werden die CT-Daten von 155 Patienten, insgesamt 302 Schultern untersucht. Bei 145 Patienten werden beide Schultergelenke in die Untersuchung mit einbezogen (Tabelle 1). Bei 5 Patienten wird nur die rechte und bei 5 weiteren Patienten nur die linke Schulter computertomographisch erfasst. Insgesamt werden 151 rechte und 151 linke Schultern evaluiert.

#### **4.1.2 Rasse – und Geschlechtsverteilung**

Die Patientengruppe setzt sich insgesamt aus 81 weiblichen und 74 männlichen Tieren zusammen (Tabelle 2). Insgesamt werden 37 Golden Retriever, 55 Labrador Retriever sowie 63 Deutsche Schäferhunde untersucht (Abbildung 52; Tabelle 3).

Die Rassegruppe Golden Retriever setzt sich aus 19 Hündinnen und 15 Rüden zusammen, die Labrador Retriever aus 26 Hündinnen und 26 Rüden und die Deutschen Schäferhunde aus 31 weiblichen und 27 männlichen Tieren (Abbildung 53; Tabelle 4).

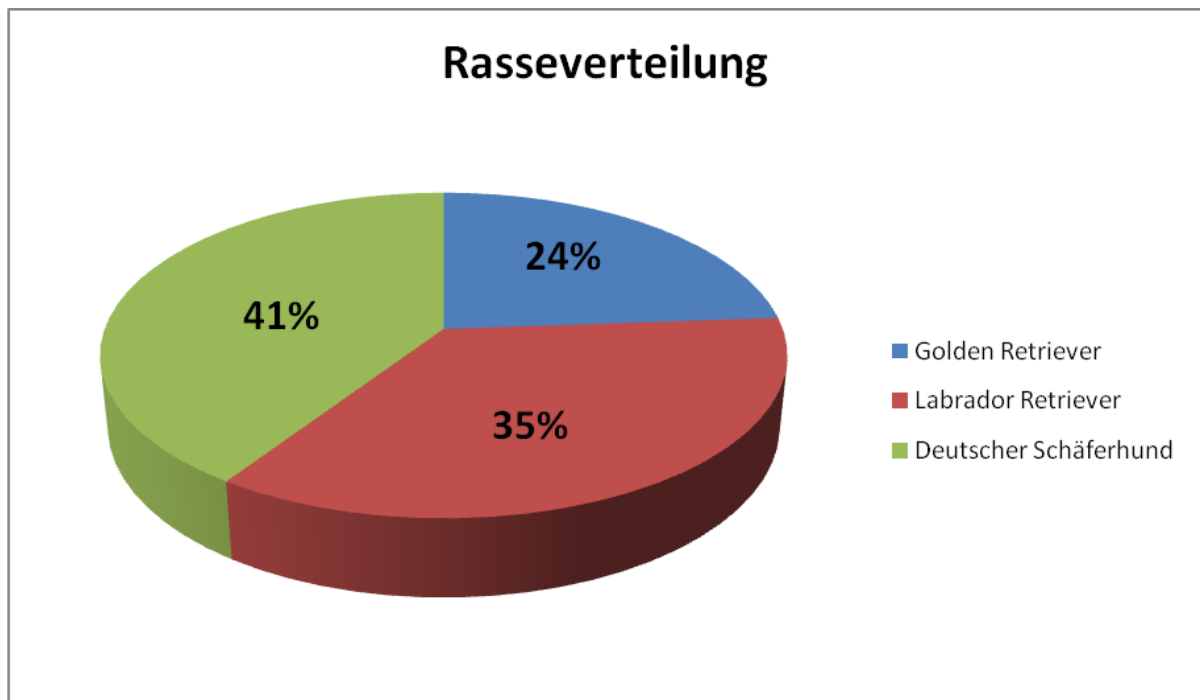


Abbildung 52: Kreisdiagramm der Rassenverteilung sämtlicher untersuchter Hunde ( $n = 155$ ) in Prozent

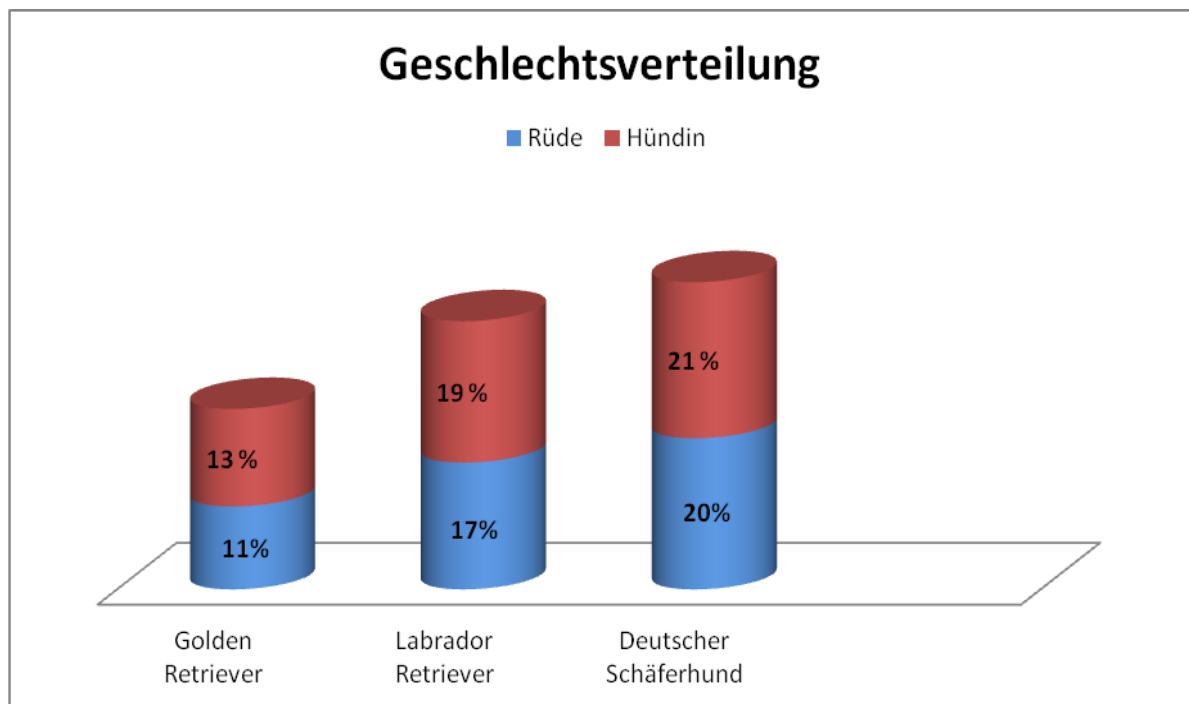


Abbildung 53: Säulendiagramm der Geschlechtsverteilung sämtlicher untersuchter Hunde ( $n=155$ ) in Prozent und ihre Verteilung innerhalb der verschiedenen Rassen

### 4.1.3 Gewichts – und Altersverteilung

Für die in dieser Studie verwendeten Hunde ergibt sich für das Körpergewicht ein Mittelwert von 29,36 kg ( $\pm 4,19$ ) und für das Alter ein Mittelwert von 15,66 Monate ( $\pm 4,96$ ) (Tabelle 5).

Die Hündinnen innerhalb der Rasse Golden Retriever weisen im Mittel ein Körpergewicht von 26,97 kg ( $\pm 3,31$ ) sowie ein mittleres Alter von 16,89 Monaten ( $\pm 4,34$ ) auf (Abbildung 54). Für die Rüden der Rasse Golden Retriever wird ein Mittelwert des Körpergewichts von 30,27 kg ( $\pm 2,27$ ) und ein mittleres Alter von 15,07 Monaten ( $\pm 2,19$ ) ermittelt.

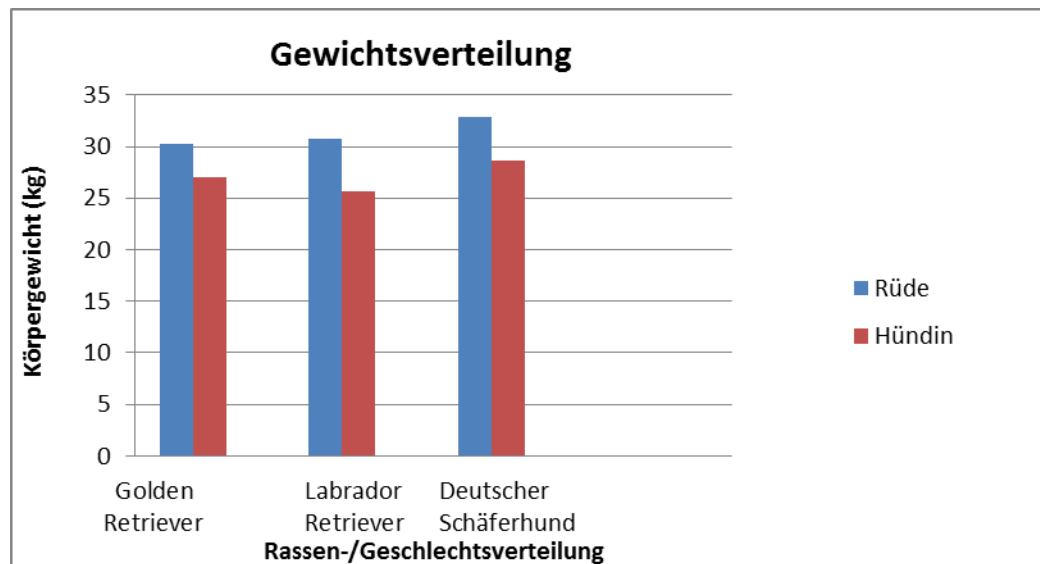


Abbildung 54: Säulendiagramm der Gewichtsverteilung (kg) sämtlicher untersuchter Hunde ( $n = 155$ ) und ihre Aufteilung innerhalb der verschiedenen Rassen und Geschlechter. Auf der Y-Achse wird das Gewicht in kg angegeben

Die weiblichen Labrador Retriever wiegen im Mittel 25,7 kg ( $\pm 3,35$ ) und sind im Mittel 14,69 Monate alt ( $\pm 1,85$ ). Die Rüden dieser Rasse haben im Mittel ein Körpergewicht von 30,76 kg ( $\pm 3,77$ ) und ein mittleres Alter von 14,62 Monaten ( $\pm 1,7$ ) (Abbildung 55).

Die Hündinnen der Rasse Deutscher Schäferhund weisen im Mittel ein Körpergewicht von 28,59 kg ( $\pm 2,72$ ) und ein mittleres Alter von 15,81 Monaten ( $\pm 3,98$ ) auf. Die Rüden dagegen besitzen im Mittel ein Körpergewicht von 32,81 kg ( $\pm 3,53$ ) und ein mittleres Alter von 15,15 Monaten ( $\pm 2,55$ ).

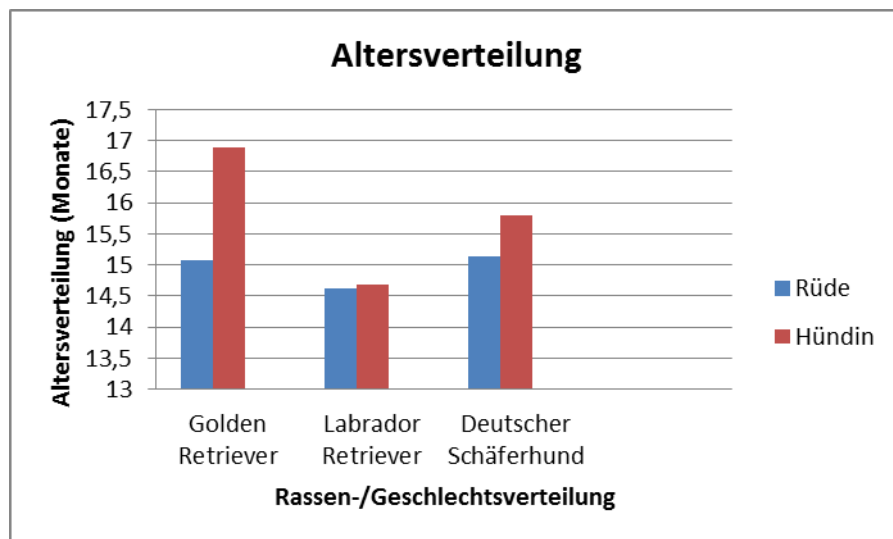


Abbildung 55: Säulendiagramm der Altersverteilung (Monate) sämtlicher untersuchter Hunde ( $n = 155$ ) und ihre Aufteilung innerhalb der verschiedenen Rassen und Geschlechter. Auf der Y-Achse wird das Alter in Monaten angegeben



## 4.2 Ergebnisse der einzelnen Messungen

### 1.) Messung des Schultergelenkwinkels (Winkelsch):

Für den Schultergelenkwinkel lässt sich insgesamt ein Mittelwert für beide Schultern bei allen Patienten von  $165,66^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $5,27^\circ$  messen (Tabelle 6).

In der Varianzanalyse ergibt sich für die Rasse eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  (Tabelle 7).

Der rasseabhängige Mittelwert für den Schultergelenkwinkel ergibt für die Rasse Labrador Retriever einen Winkel von  $167,95^\circ (\pm 4,25)$ , für den Golden Retriever einen Winkel von  $167,79^\circ (\pm 3,54)$  und für den Deutschen Schäferhund einen Winkel von  $162,37^\circ (\pm 5,26)$  (Abbildung 56). Hierbei zeigt sich, dass der Schultergelenkwinkel beim Labrador Retriever am größten ist, gefolgt vom Golden Retriever und dem Deutschen Schäferhund.

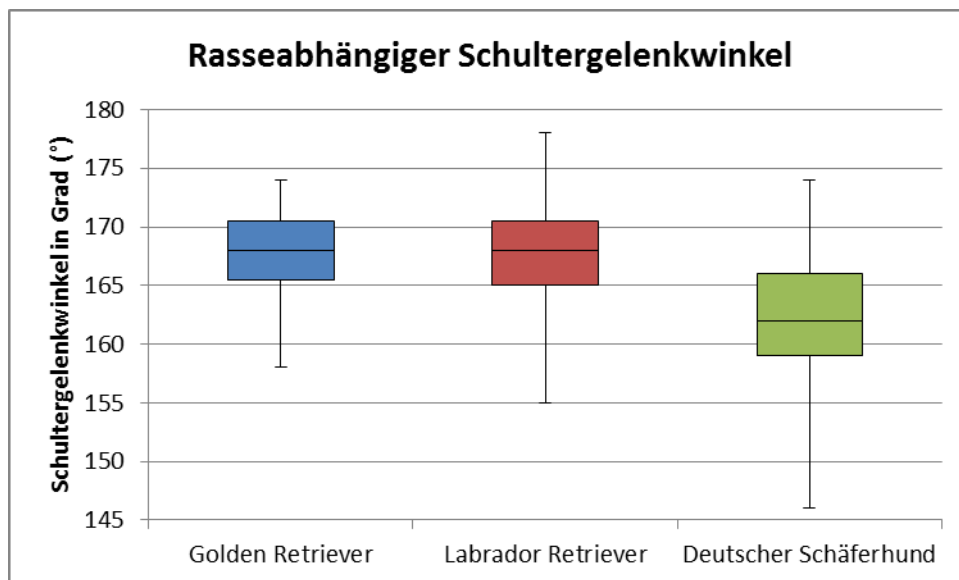


Abbildung 56: Box-and-Whisker-plot der Ausprägung des Schultergelenkwinkels bei den verschiedenen Rassen mit Berücksichtigung des kleinsten Wertes, Median und größten Wertes für den Schultergelenkwinkel. Auf der Y-Achse wird der Schultergelenkwinkel in Grad (°) angegeben

## 2.) Messung des Pfannenwinkels (Pfwinkel):

Beim Pfannenwinkel findet sich ein Mittelwert von  $22,32^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $3,35^\circ$  (Tabelle 8).

Bei der Varianzanalyse ergibt sich für die Rasse eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ , was als hochsignifikant zu werten ist (Tabelle 9).

In Abhängigkeit zur Rasse lässt sich ein Mittelwert des Pfannenwinkels für die Rasse Golden Retriever mit einem Winkel von  $21,46^\circ (\pm 3,01)$ , für den Labrador Retriever von  $21,26^\circ (\pm 3,5)$  und für den Deutschen Schäferhund von  $23,77^\circ (\pm 2,88^\circ)$  errechnen (Abbildung 57).

Auffallend ist, dass der Pfannenwinkel beim Deutschen Schäferhund größer ist als beim Golden Retriever und beim Labrador Retriever.

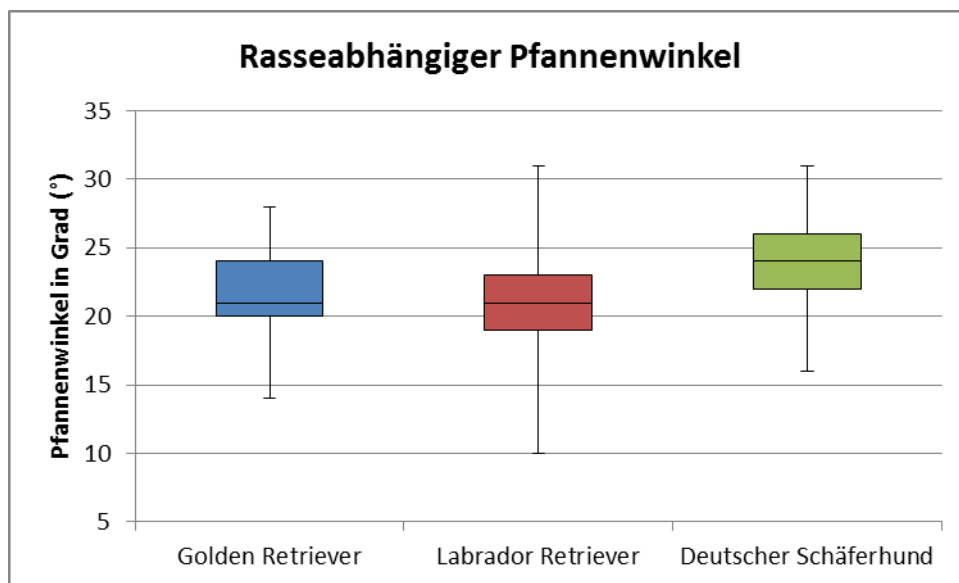


Abbildung 57: Box-and-Whisker-plot der Ausprägung des Pfannenwinkels bei den verschiedenen Rassen mit Berücksichtigung des kleinsten Wertes, Median und größten Wertes für den Pfannenwinkel. Auf der Y-Achse wird der Pfannenwinkel in Grad (°) angegeben

### 3.) Messung der Länge des Humeruskopfes (*L<sub>humkop</sub>*):

Die Messung der Länge des Humeruskopfes beträgt im Mittel für beide Schultern 58,33 mm mit einer Standardabweichung von 6,51 mm (Tabelle 10).

In der Varianzanalyse ergibt sich sowohl für das Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ , für die Rasse von  $p < 0,0001$  sowie für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p < 0,0001$  (Tabelle 11).

Der geschlechtsabhängige Mittelwert für die Messung der Länge des Humeruskopfes ergibt für weibliche Tiere eine Länge von 56,21 mm ( $\pm 6,21$ ) und für männliche Tiere eine Länge von 60,69 mm ( $\pm 6,021$ ), woraus sich ergibt, dass die Humeruskopflänge bei weiblichen Tieren kürzer ist als bei männlichen.

Bei den rasseabhängigen Mittelwerten findet sich für die Rasse Deutscher Schäferhund mit 62,9 mm ( $\pm 6,30$ ) eine deutlich größere Länge im Vergleich zu den anderen beiden Rassen, beim Golden Retriever mit einer mittleren Länge von 55,51 mm ( $\pm 4,43$ ) und beim Labrador Retriever mit 55,04 mm ( $\pm 4,61$ ) (Abbildung 58).

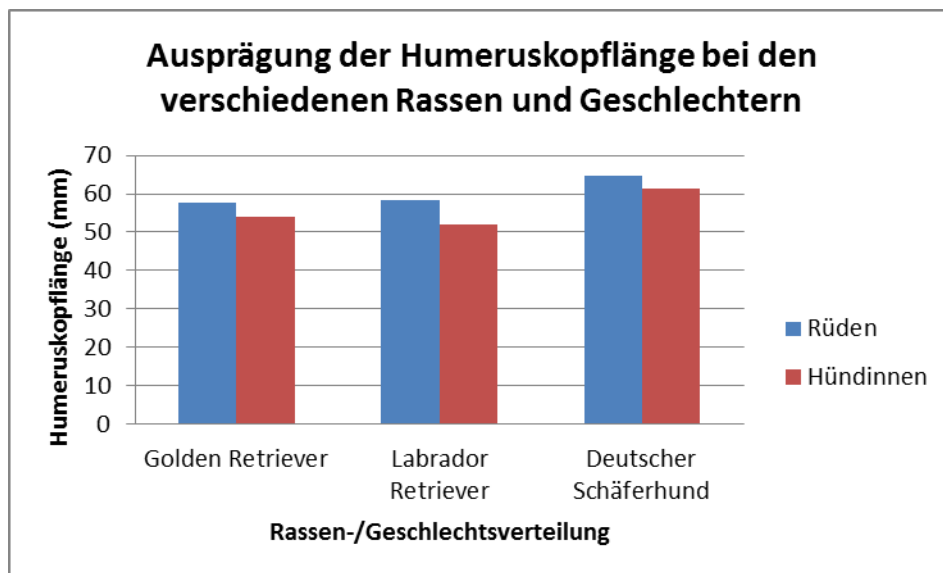


Abbildung 58: Säulendiagramm der Ausprägung der Humeruskopflänge bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Humeruskopflänge in (mm) angegeben

Bei den gewichtsabhängigen Mittelwerten zeigt sich, dass die weiblichen Tiere mit einem Mittelwert für das Körpergewicht von 27,09 kg und einer Standardabweichung von 3,13 kg eine kürzere Länge des Humeruskopfes haben im Vergleich zu den männlichen Tieren (Mittelwert:  $31,28 \pm 3,19$  kg). Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Länge des Humeruskopfes um 0,46 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Tabelle 12).

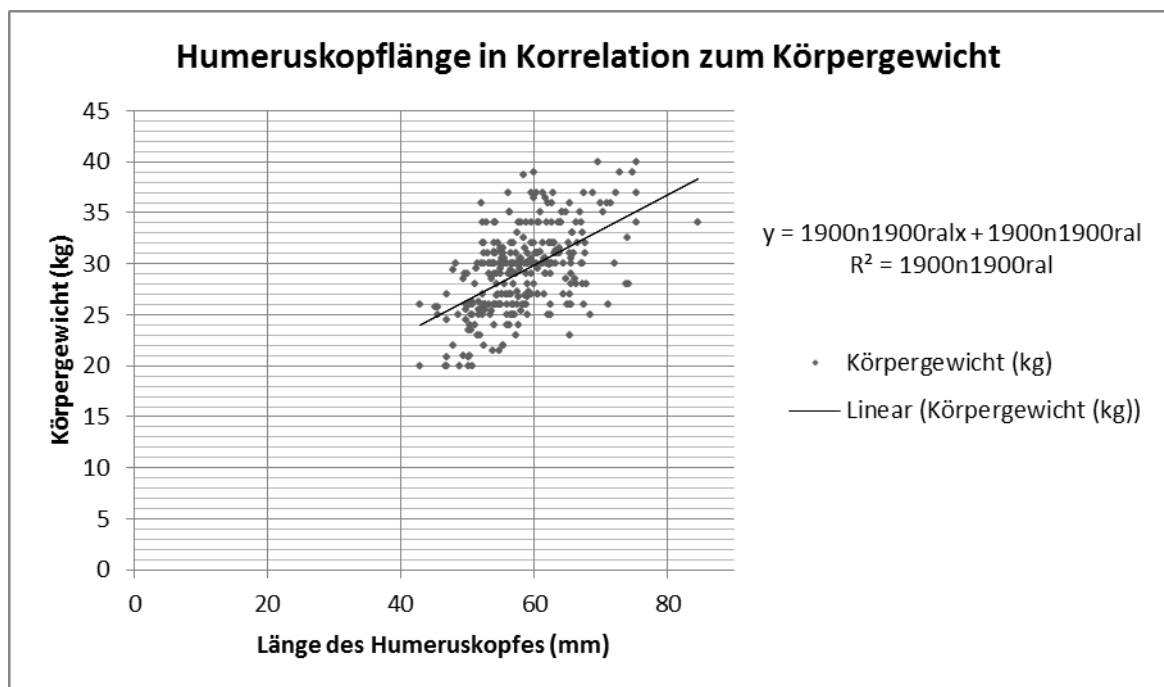


Abbildung 59: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zur Länge des Humeruskopfes (mm). Auf der X-Achse wird die Länge des Humeruskopfes (mm) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht (kg)

Auch die Korrelationsanalyse zeigt eine Abhängigkeit der Humeruskopflänge vom Körpergewicht mit  $p < 0,001$ .

#### 4.) Messung der Schultergelenkspaltweite (Gcran/med/caud):

Für die im kranialen Bereich gemessene Schultergelenkspaltweite (Gcran) ergibt sich im Mittel ein Wert von 3,45 mm ( $\pm 1,10$ ).

Im medialen Bereich findet sich eine Schultergelenkspaltweite (Gmed) im Mittel für beide Schultern von 3,61 mm mit einer Standardabweichung von 0,74 mm.

Die Schultergelenkspaltweite beträgt im kaudalen Bereich (Gcaud) im Mittel für beide Schultern 1,84 mm ( $\pm 0,62$ ) (Tabelle 44).

Die Varianzanalyse zeigt sowohl für die Lokalisation eine Signifikanz von  $p < 0,0001$  sowie für die Lokalisation in Korrelation zur Rasse von  $p < 0,0001$ , was für eine hohe Signifikanz spricht (Tabelle 45).

Der Gelenkspalt unterscheidet sich an den Lokalisationen kranial, medial und kaudal deutlich. Im kaudalen Bereich ist der Gelenkspalt (Mittelwert: 1,84 mm) am schmalsten, gefolgt von dem kranialen Bereich (Mittelwert: 3,45 mm) und dem medialen Gelenkbereich (Mittelwert: 3,61 mm).

Es liegt eine Korrelation zwischen den Faktoren Lokalisation sowie der Lokalisation in Korrelation mit der Rasse vor. Der Deutsche Schäferhund hat im Vergleich zu den anderen beiden Hunderassen an allen drei Lokalisationen die weiteste Gelenkspaltweite (kaudaler Mittelwert: 1,98 mm, medialer Mittelwert: 3,62 mm und kranialer Mittelwert: 3,66 mm), gefolgt vom Golden Retriever (kaudaler Mittelwert: 1,86 mm, medialer Mittelwert: 3,53 mm und kranialer Mittelwert von 3,01 mm) und vom Labrador Retriever (kaudaler Mittelwert: 1,68 mm, medialer Mittelwert 3,65 mm und kranialer Mittelwert: 3,52 mm) (Abbildung 60).

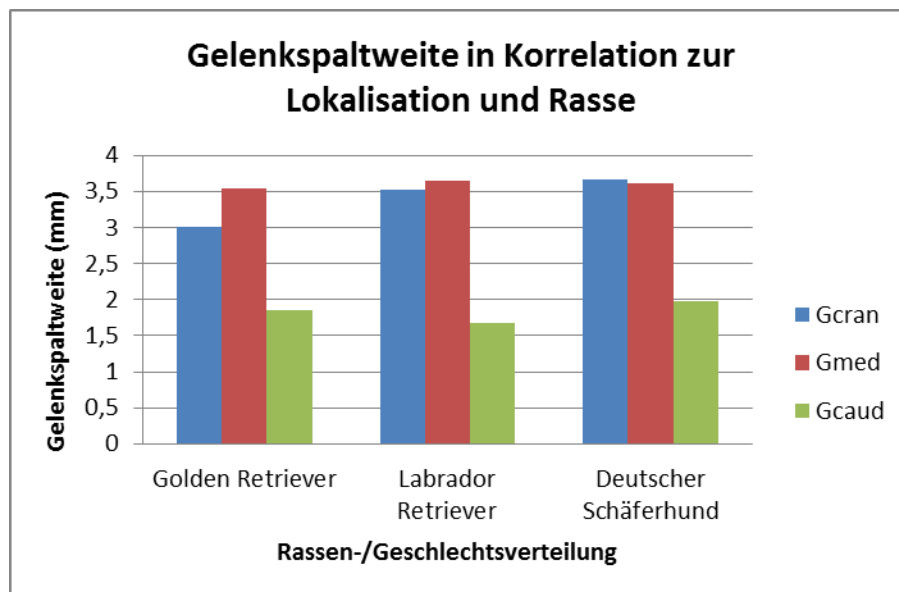


Abbildung 60: Säulendiagramm der Gelenkspaltweite (mm) an den verschiedenen Lokalisationen in Korrelation zur Rasse. Auf der Y-Achse wird die Gelenkspaltweite in (mm) angegeben

Zusätzlich ergibt die Korrelationsanalyse eine Abhängigkeit zwischen der Gelenkspaltweite im kaudalen Bereich und dem Schultergelenkwinkel mit einer Signifikanz von  $p < 0,05$ .

### **5.) Flächen-, Dichte- und Umfangsmessung des Humeruskopfes:**

#### **Flächenmessung (FLHumkop):**

Für die Flächenmessung im Bereich des Humeruskopfes lässt sich ein Mittelwert für beide Schultern von  $495,17 \text{ mm}^2$  mit einer Standardabweichung von  $98,36 \text{ mm}^2$  berechnen (Tabelle 13).

In der Varianzanalyse ergibt sich für das Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ , für die Rasse von  $p < 0,0001$  und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p < 0,0001$  (Tabelle 14).

Die Fläche des Humeruskopfes stellt sich bei weiblichen Tieren mit einem Mittelwert von  $458,86 \text{ mm}^2 (\pm 86,55)$  kleiner dar als bei den männlichen Tieren (Mittelwert:  $535,3 \pm 95,3 \text{ mm}^2$ ).

Der Deutsche Schäferhund zeigt bei den rasseabhängigen Mittelwerten der Humeruskopffläche mit  $563,16 \text{ mm}^2 (\pm 94,41)$  eine größere Fläche im Vergleich zum Golden Retriever (Mittelwert:  $456,53 \text{ mm}^2$ ) (Abbildung 61).

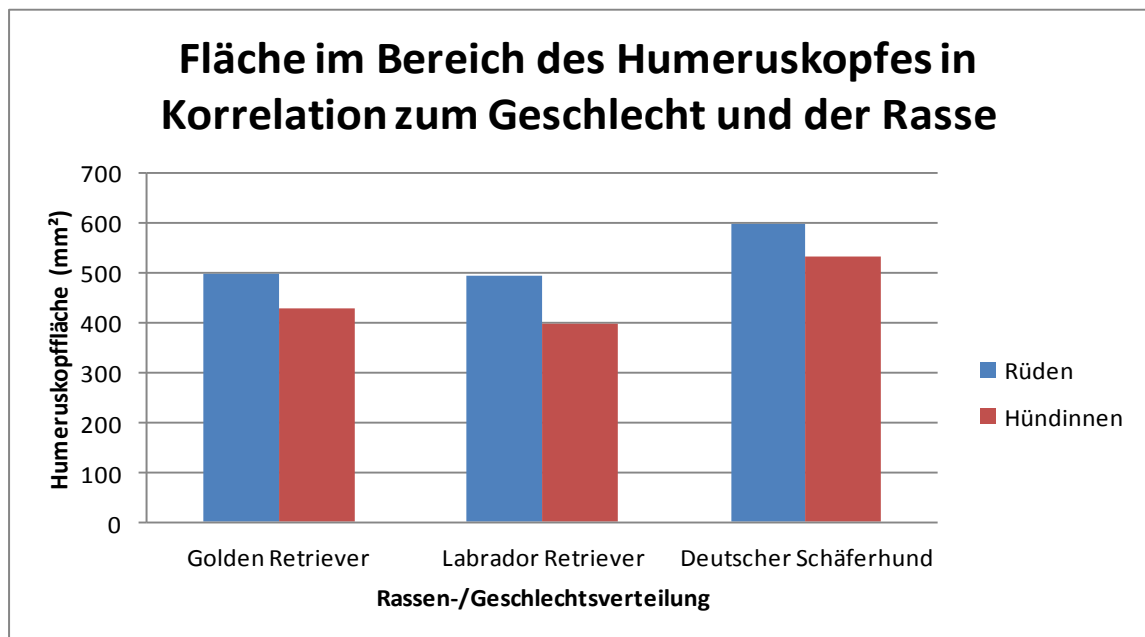


Abbildung 61: Säulendiagramm der Ausprägung der Fläche des Humeruskopfes bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Humeruskopfgröße in (mm²) angegeben

In Bezug auf die 1. Kovariable (Körpergewicht) zeigt der Deutsche Schäferhund mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht auch eine größere Humeruskopfgröße (Abbildung 62).

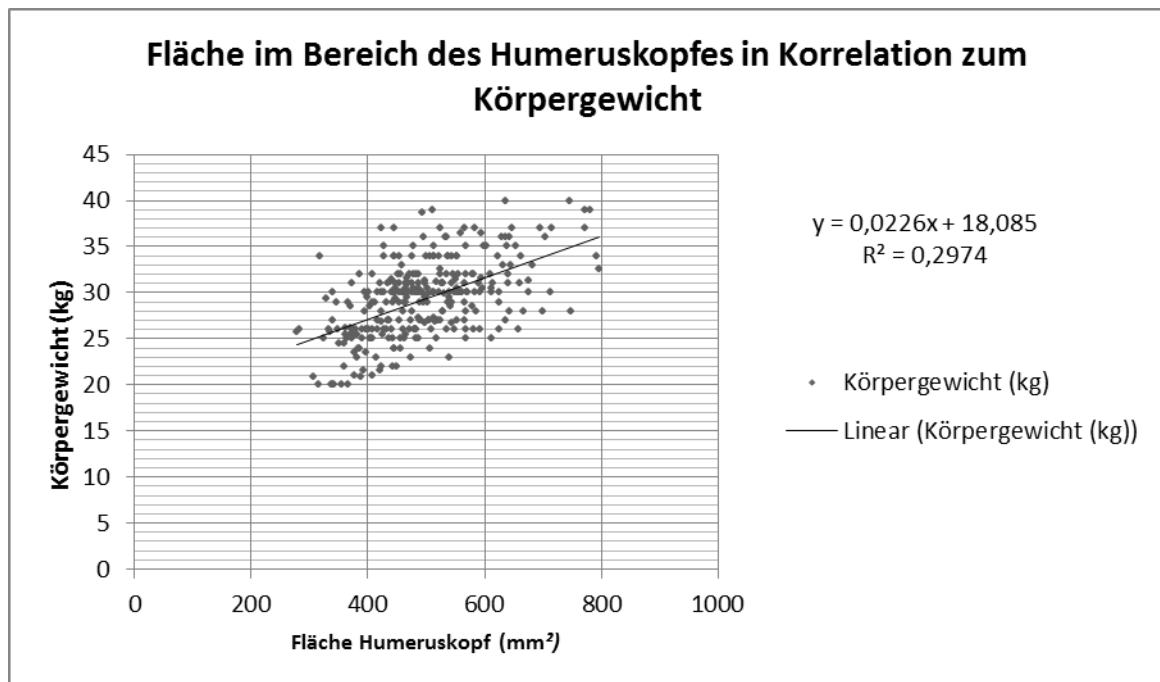


Abbildung 62: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zur Fläche des Humeruskopfes (mm²). Auf der X-Achse wird die Fläche des Humeruskopfes in (mm²) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Fläche des Humeruskopfes um 6,08 mm² pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Tabelle 15).

Auch in der Korrelationsanalyse zeigt sich eine Abhängigkeit der Humeruskopffläche vom Körpergewicht mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ .

### **Dichtemessung (D1m1/2):**

Es liegt eine mittlere Dichte des Humeruskopfes von 544,11 HU ( $\pm 239,36$  HU) vor (Tabelle 39).

Die Varianzanalyse ergibt für die Rasse eine Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation von  $p < 0,0001$ . Diese Ergebnisse sind hochsignifikant.

Die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse zeigt eine Signifikanz von  $p = 0,0018$  (Tabelle 40).

Während der Golden Retriever eine geringere Dichte im Vergleich zu den anderen Rassen hat (Mittelwert:  $504,71 \pm 38,76$  HU), weist der Deutsche Schäferhund eine



mittlere Dichte von 518,97 HU ( $\pm 341,37$ ) auf, gefolgt vom Labrador Retriever (Mittelwert: 598,14  $\pm 44,3$  HU).

Die Dichte im Bereich des Humeruskopfes unterscheidet sich von der Dichte der anderen gemessenen Lokalisationen. Als Bereich höchster Dichte in Kombination mit der Flächenmessung findet sich die Dichtemessung des subchondralen Knochens (D3m1/2) mit einem Mittelwert von 734,58 HU ( $\pm 59,46$  HU), gefolgt von der Dichtemessung des gelenknahen Anteils der Skapula (D4m1/2) mit einem Mittelwert von 662,23 HU ( $\pm 107,37$  HU) und der Dichtemessung im Bereich des Humeruskopfes (D1m1/2) (mittlere Dichte 544,11  $\pm 239,36$  HU). Als Bereich mit der niedrigsten Dichteverteilung stellt sich die Humerusepiphyse (D2m1/2) dar, mit einem Mittelwert von 505,44 HU ( $\pm 80,31$ ).

Weiterhin besteht eine Korrelation zwischen der Lokalisation und der Rasse. Der Deutsche Schäferhund zeigt im Vergleich zu den anderen beiden Rassen an alle Lokalisationen die geringste Dichte (Humerusepiphyse: Mittelwert: 435,06  $\pm 37,89$  HU; Humeruskopf: 518,965  $\pm 341,37$  HU; gelenknahe Anteil der Skapula: 578,8  $\pm 84,57$  HU; subchondrale Knochen: 702,21  $\pm 48,22$  HU).

Der Golden Retriever folgt dem Deutschen Schäferhund bei der Dichteverteilung (die geringste Dichteaussprägung befindet sich im Bereich der Humerusepiphyse: Mittelwert: 497,11  $\pm 43,24$  HU; Humeruskopf: 504,71  $\pm 38,76$  HU; der gelenknahe Anteil der Skapula: 658,95  $\pm 70,39$  HU; der subchondrale Knochen: 716,53  $\pm 45,37$  HU).

Der Labrador Retriever hat dagegen die höchsten Dichten an den verschiedenen Lokalisationen des Humeruskopfes (Humerusepiphyse: Mittelwert 590,5  $\pm 47,23$  HU; Humeruskopf: 598,14  $\pm 44,3$  HU; der gelenknahe Anteil der Skapula: 758,84  $\pm 60,48$  HU; subchondraler Knochen: 783,18  $\pm 46,33$  HU) (Abbildung 63).

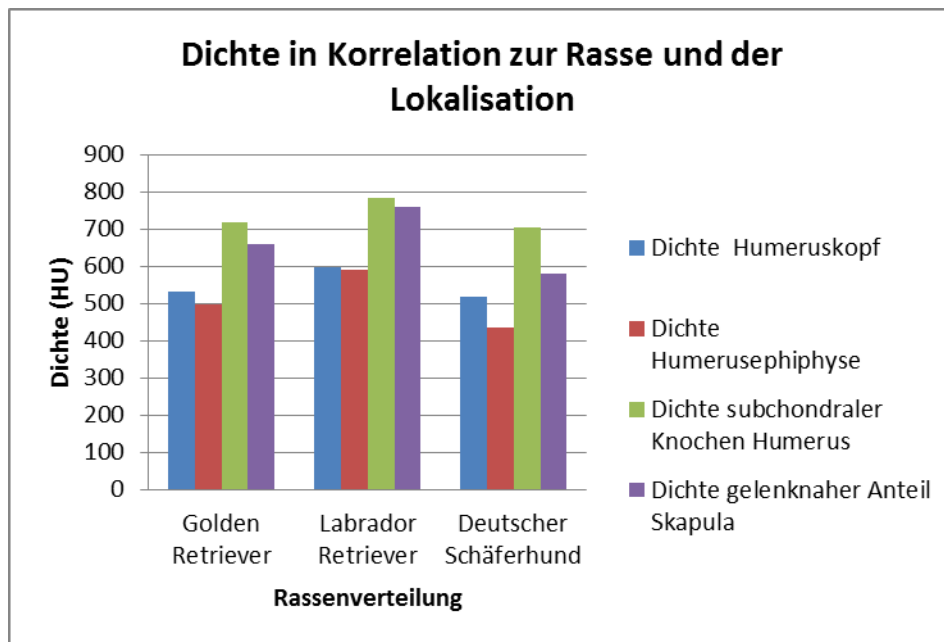


Abbildung 63: Säulendiagramm der Dichte (HU) in Korrelation zur Rasse und den unterschiedlichen Lokalisationen. Auf der Y-Achse wird die Dichte in HU angegeben

### **Umfang der Fläche des Humeruskopfes D1P1/2:**

Der Umfang der Fläche des Humeruskopfes beträgt im Mittel für beide Schultern 100,34 mm mit einer Standardabweichung von 10,5 mm (Tabelle 41).

Sowohl für das Geschlecht ergibt die Varianzanalyse eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ , wie auch für die Rasse von  $p < 0,0001$ , für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation von  $p < 0,0001$ . Es ergibt sich für die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse und dem Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  (Tabelle 42).

Die Hündinnen zeigen einen kleineren Umfang der Humeruskopffläche mit einem mittleren Umfang von 96,67 mm und einer Standardabweichung von 9,61 mm im Vergleich zu den Rüden ( $104,39 \pm 9,99$  mm).

Der Labrador Retriever hat den kleinsten Umfang der Fläche des Humeruskopfes (Mittelwert:  $93,87 \pm 7,45$  mm), gefolgt vom Golden Retriever ( $96,30 \pm 6,99$  mm) und dem Deutschen Schäferhund ( $108,41 \pm 9,11$  mm) (Abbildung 64, 49).

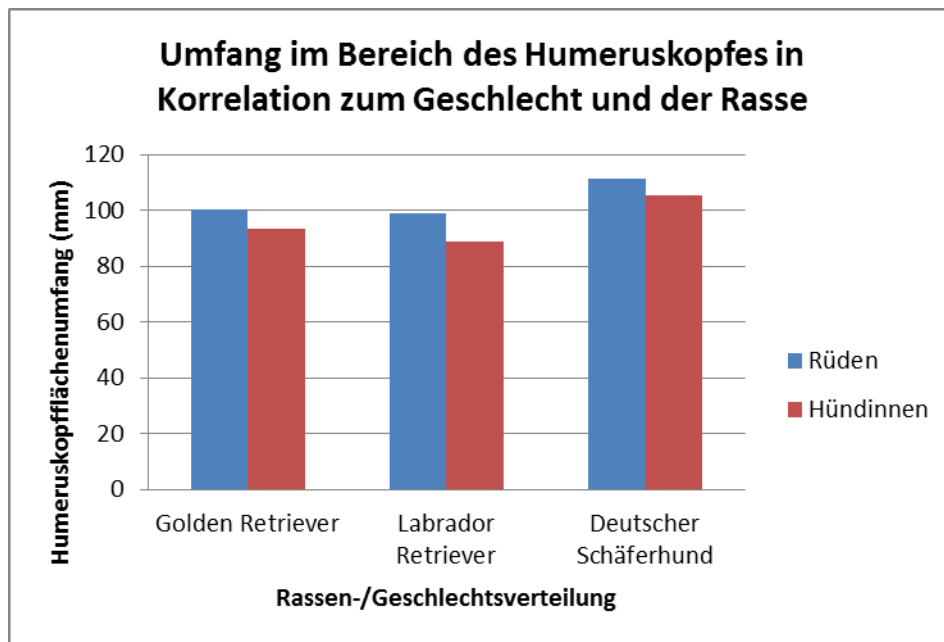


Abbildung 64: Säulendiagramm der Ausprägung des Umfanges des Humeruskopffläche bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird der Humeruskopfflächenumfang in (mm) angegeben

In Bezug auf die 1. Kovariable (Körpergewicht) zeigt der Deutsche Schäferhund mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (für die Hündinnen von 28,59 kg ( $\pm 2,72$ ) und für die Rüden von 32,82 kg ( $\pm 3,53$ )) einen größeren Umfang im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Es zeigt sich, dass bei einer Gewichtszunahme um ein Kilogramm auch der Umfang um 0,77 mm zunimmt (Abbildung 65) (Tabelle 43). Auch in der Korrelationsanalyse zeigt sich eine Abhängigkeit des Umfangs im Bereich des Humeruskopfes vom Körpergewicht mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ .

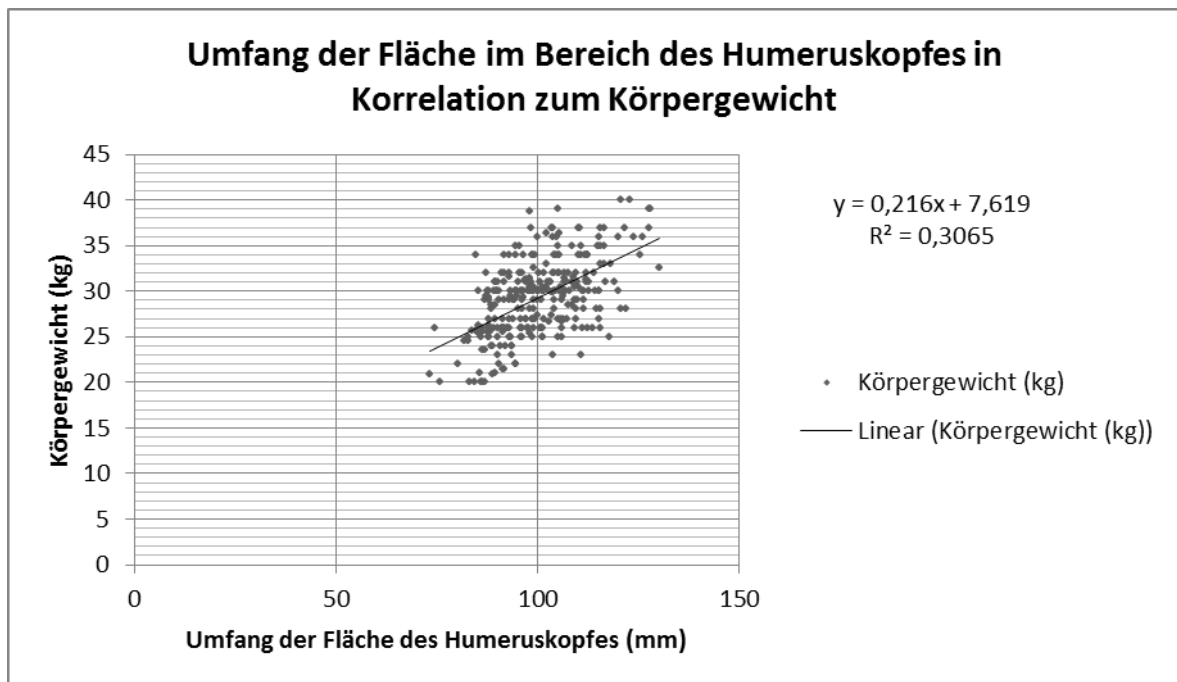


Abbildung 65: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zum Umfang der Fläche des Humeruskopfes (mm). Auf der X-Achse wird der Umfang der Fläche des Humeruskopfes (mm) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht (kg)

Es besteht ein signifikanter Unterschied im gemessenen Umfang der Humeruskopffläche in Abhängig zu den anderen Lokalisationen der Umfangsmessung. Der Umfang im Bereich des Humeruskopfes gemessen ist am kleinsten (Mittelwert:  $100,34 \pm 10,5$  mm), gefolgt vom mittleren Umfang des Humeruskopfes gemessen im Bereich des subchondralen Knochens ( $102,77 \pm 12,43$  mm) und dem mittleren Umfang im Bereich der proximalen Skapula ( $125,41 \pm 11,8$  mm) sowie der mittlere Bereich der Humerusepiphyse ( $125,69 \pm 13,98$  mm) (Abbildung 66).

Bezüglich der Korrelation zwischen Rasse, Geschlecht und Lokalisation zeigt sich, dass der Labrador Retriever mit einem Mittelwert von 106,79 mm den geringsten Umfang an allen Lokalisationen aufweist, gefolgt vom Golden Retriever (108,4 mm) und dem Deutschen Schäferhund (122,53 mm) und die Hündinnen der jeweiligen Rassen immer den kleineren Flächenumfang zeigen im Vergleich zu den Rüden.

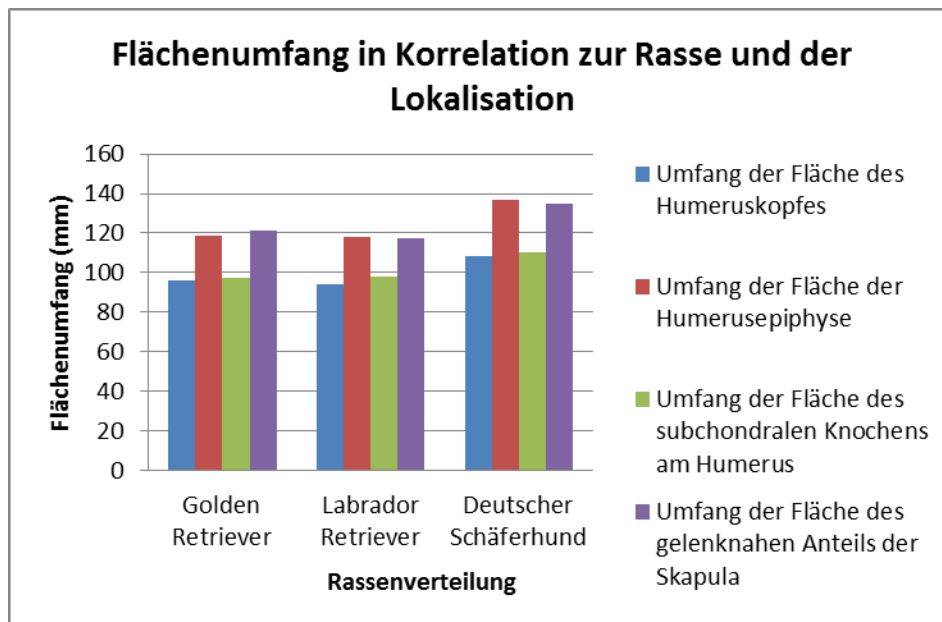


Abbildung 66: Säulendiagramm des Umfangs (mm) in Korrelation zur Rasse und den unterschiedlichen Lokalisationen. Auf der Y-Achse wird der Umfang in mm angegeben

## 6.) Flächen-, Dichte- und Umfangsmessung der Humerusepiphyse:

### Flächenmessung (FIHmfug):

Für die Flächenmessung im Bereich der Humerusepiphyse lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 613,32 mm<sup>2</sup> mit einer Standardabweichung von 142,23 mm<sup>2</sup> berechnen (Tabelle 16).

In der Varianzanalyse ergibt sich für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p = 0,0002$ , für die Rasse und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) ergibt sich eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Die 2. Kovariable (Alter) zeigt eine Signifikanz von  $p = 0,0318$  (Tabelle 17).

Es zeigt sich, dass die Flächenmessung der Humerusepiphyse bei weiblichen Tieren mit einem Mittelwert von 569,65 mm<sup>2</sup> ( $\pm 123,38$ ) kleiner ist, als bei den männlichen Tieren (Mittelwert: 661,56  $\pm 146,62$  mm<sup>2</sup>).

Weiterhin hat der Deutsche Schäferhund eine größere mittlere Humerusepiphysefläche (729,93  $\pm 125,55$  mm<sup>2</sup>) als der Golden Retriever (558,91  $\pm 76,39$  mm<sup>2</sup>) und der Labrador Retriever (517,48  $\pm 91,41$  mm<sup>2</sup>) (Abbildung 67).

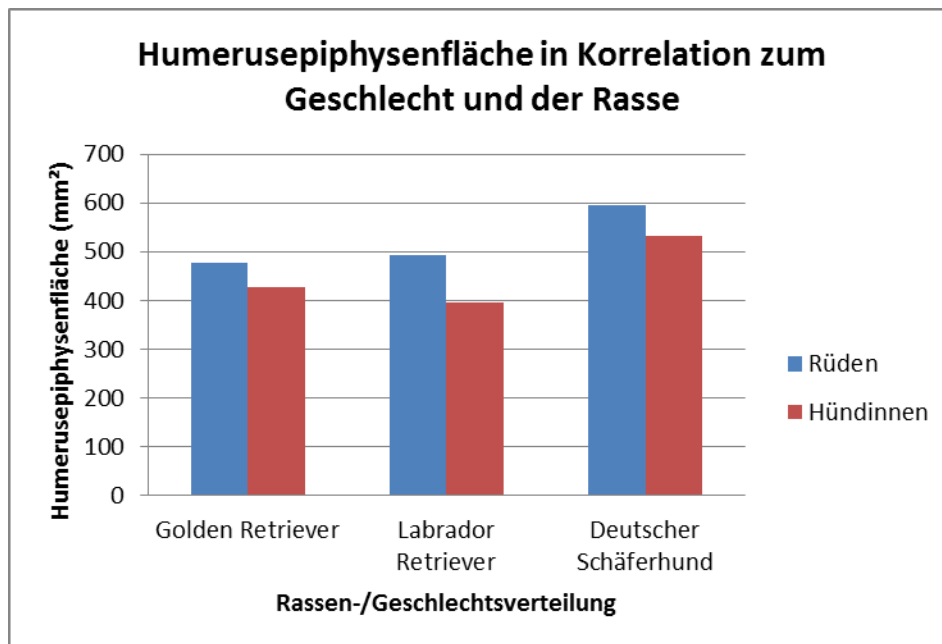


Abbildung 67: Säulendiagramm der Ausprägung der Humerusepiphysefläche (mm<sup>2</sup>) bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Humerusepiphysefläche in (mm<sup>2</sup>) angegeben

Der Deutsche Schäferhund zeigt im Bezug zur 1. Kovariable (Körpergewicht) mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (für die Hündinnen von  $28,59 \pm 2,72$  kg und für die Rüden von  $32,82 \pm 3,53$  kg) auch eine größere Fläche im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Fläche der Humerusepiphyse um  $9,61 \text{ mm}^2$  pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 68).

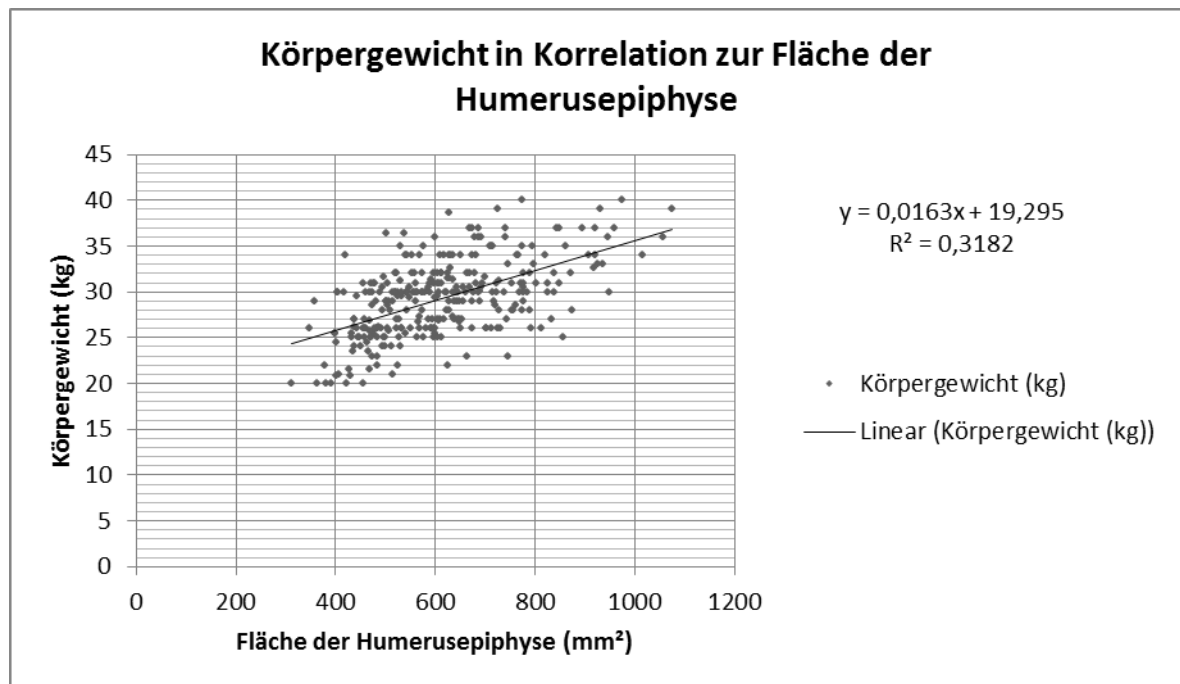


Abbildung 68: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zur Fläche der Humerusepiphyse (mm²). Auf der X-Achse wird die Humerusepiphysefläche in (mm²) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

Die Korrelationsanalyse zeigt eine Abhängigkeit der Fläche der Humerusepiphyse vom Körpergewicht mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ .

Eine weitere Signifikanz fällt bezüglich der 2. Kovariable (Alter) auf. Männliche und weibliche Labrador Retriever sind in dieser Studie im Vergleich zu den anderen Rassen im Durchschnitt jünger (Hündinnen: im Mittel  $14,69 \pm 1,85$  Monate; Rüden: im Mittel  $14,62 \pm 1,7$  Monate) und weisen zu diesem Zeitpunkt die kleinste Humerusepiphysefläche auf (Hündinnen: im Mittel  $465,61 \pm 62,71$  mm²; Rüden: im Mittel  $570,8 \pm 87,39$  mm²) im Gegensatz zum Golden Retriever (Hündinnen: im Mittel  $16,9 \pm 4,35$  Monate; Rüden: im Mittel  $15,07 \pm 2,19$  Monate) mit einer größeren Humerusepiphysefläche (Hündinnen: im Mittel  $532,69 \pm 69,69$  mm²; Rüden: im Mittel  $590,02 \pm 67,42$  mm²) und dem Deutschen Schäferhund (Hündinnen: im Mittel  $15,81 \pm 3,98$  Monate; Rüden: im Mittel  $15,15 \pm 2,55$  Monate), der die größte Humerusepiphysefläche aufweist (Hündinnen: im Mittel  $681,4 \pm 95,72$  mm²; Rüden: im Mittel  $779,06 \pm 125,89$  mm²). Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der

Fläche des Humerusepiphyse um 3,89 mm<sup>2</sup> pro Monat Alterszunahme (Abbildung 69) (Tabelle 18).

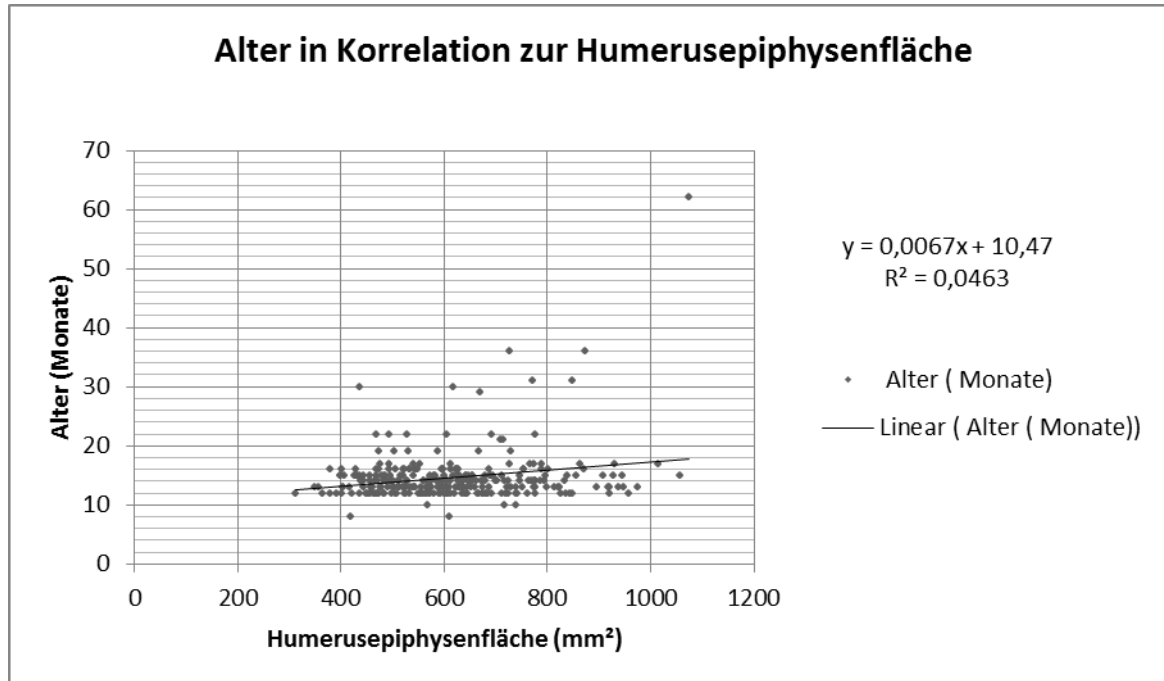


Abbildung 69: Diagrammdarstellung des Alters (Monate) in Korrelation zur Humerusepiphysenfläche (mm<sup>2</sup>). Auf der X-Achse wird die Humerusepiphysenfläche (mm<sup>2</sup>) angegeben und auf der Y-Achse das Alter (Monate)

### **Dichtemessung der Humerusepiphyse (D2m1/2):**

Bei der Dichte der Humerusepiphyse ergibt sich für die rechte und die linke Schulter ein Mittelwert von 505,44 HU mit einer Standardabweichung von 80,31 HU.

Es zeigt sich in der Varianzanalyse für die Rasse eine Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation von  $p < 0,0001$ . Diese Ergebnisse sind hochsignifikant. Weiterhin besteht eine Korrelation zwischen der Lokalisation und der Rasse mit einer Signifikanz von  $p = 0,0018$ .

Eine geringere Dichte im Vergleich zu den anderen Rassen weist der Deutsche Schäferhund (Mittelwert:  $435,06 \pm 37,89$  HU) auf, gefolgt vom Golden Retriever ( $497,11 \pm 43,24$  HU) und dem Labrador Retriever ( $590,5 \pm 47,23$  HU) (Abbildung 70).



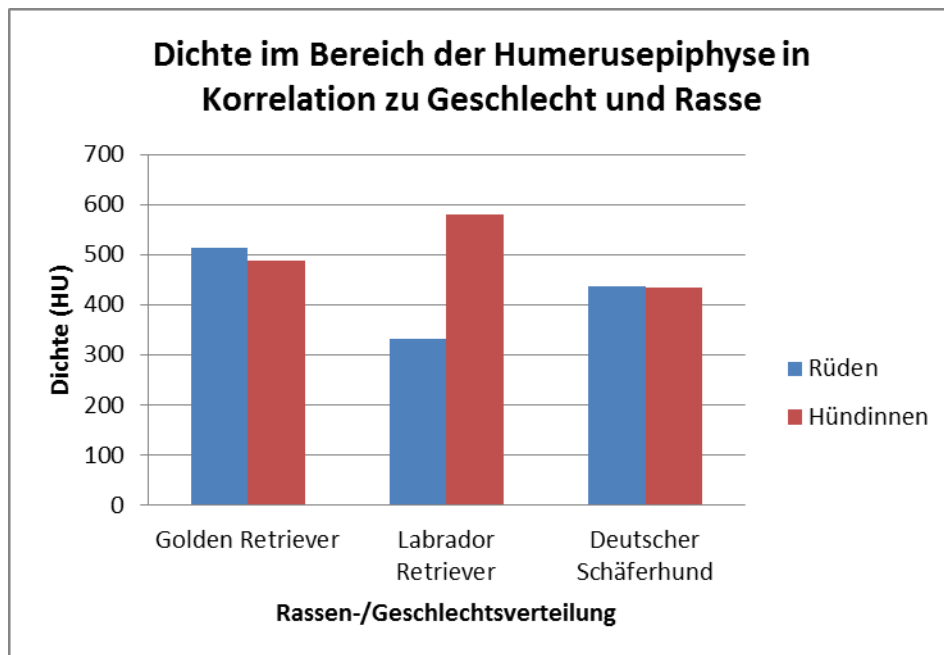


Abbildung 70: Säulendiagramm der Dichte im Bereich der Humerusepiphyse (HU) in Korrelation zur Rasse und Geschlecht. Auf der Y-Achse wird die Dichte der Humerusepiphyse in HU angegeben

Die Dichte im Bereich des Humerusepiphyse unterscheidet sich von der Dichte der anderen Lokalisationen und es besteht eine Korrelation zwischen der Lokalisation und der Rasse (siehe unter 5.) Dichtemessung (D1m1/2) sowie Abbildung 63).

Die Korrelationsanalyse ergibt eine Abhängigkeit von der Dichte im Bereich der Humerusepiphyse vom Alter mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ . Bezüglich des Alters zeigt sich, dass die durchschnittlich jünger vorgestellten Tiere auch eine größere Dichte der Humerusepiphyse haben.

#### **Umfang D2P1/2:**

Es lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 125,69 mm mit einer Standardabweichung von 13,98 mm berechnen.

Die Varianzanalyse ergibt für das Geschlecht, für die Rasse, für die 1. Kovariable (Körpergewicht) und für die Lokalisation jeweils eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Weiterhin zeigt sich für die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse und dem Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ .

Die Hündinnen weisen einen kleineren Umfang auf (Mittelwert:  $121,23 \pm 12,60$  mm) im Vergleich zu den Rüden ( $130,61 \pm 13,85$  mm).

Bezüglich der Rasse zeigt sich, dass der Labrador Retriever im Vergleich zu den anderen beiden Rassen den kleinsten Umfang hat (Mittelwert:  $117,63 \pm 10,04$  mm), gefolgt vom Golden Retriever ( $118,55 \pm 9,54$  mm) und dem Deutschen Schäferhund ( $136,6 \pm 11,83$  mm) (Abbildung 71).

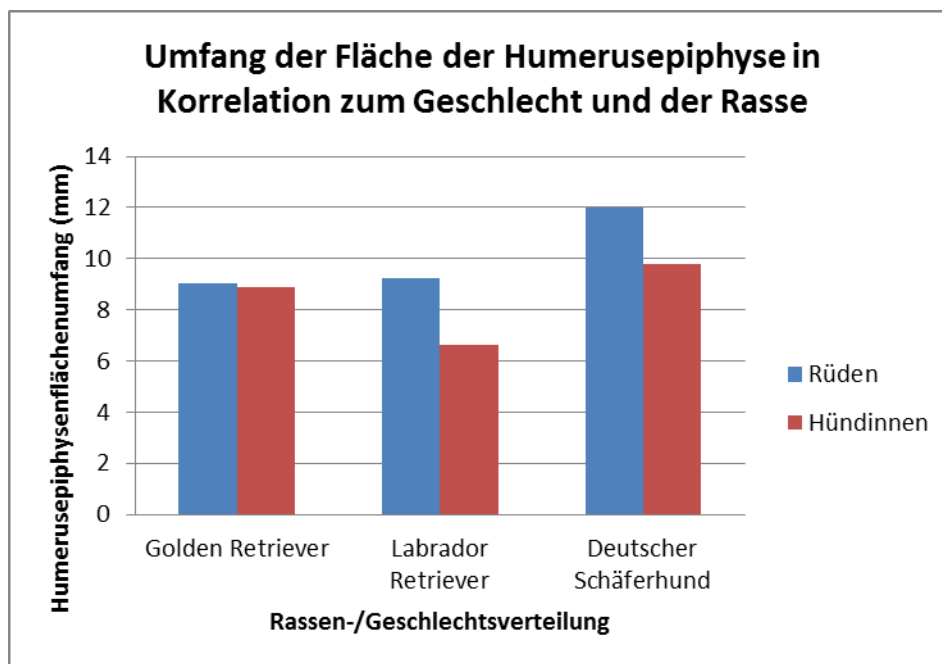


Abbildung 71: Säulendiagramm der Ausprägung des Umfanges des Humerusepiphyse bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird der Humerusepiphyseflächenumfang in (mm) angegeben

In Bezug auf die 1. Kovariable (Körpergewicht) zeigt der Deutsche Schäferhund mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (für die Hündinnen von  $28,59 \pm 2,72$  kg und für die Rüden von  $32,82 \pm 3,53$  kg) einen größeren Umfang im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Bei einer Gewichtszunahme um ein Kilogramm nimmt auch der Umfang um  $0,77$  mm zu (Abbildung 72) (Tabelle 43). Die Korrelationsanalyse zeigt eine Abhängigkeit des Umfanges der Humerusepiphyse vom Körpergewicht mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ .

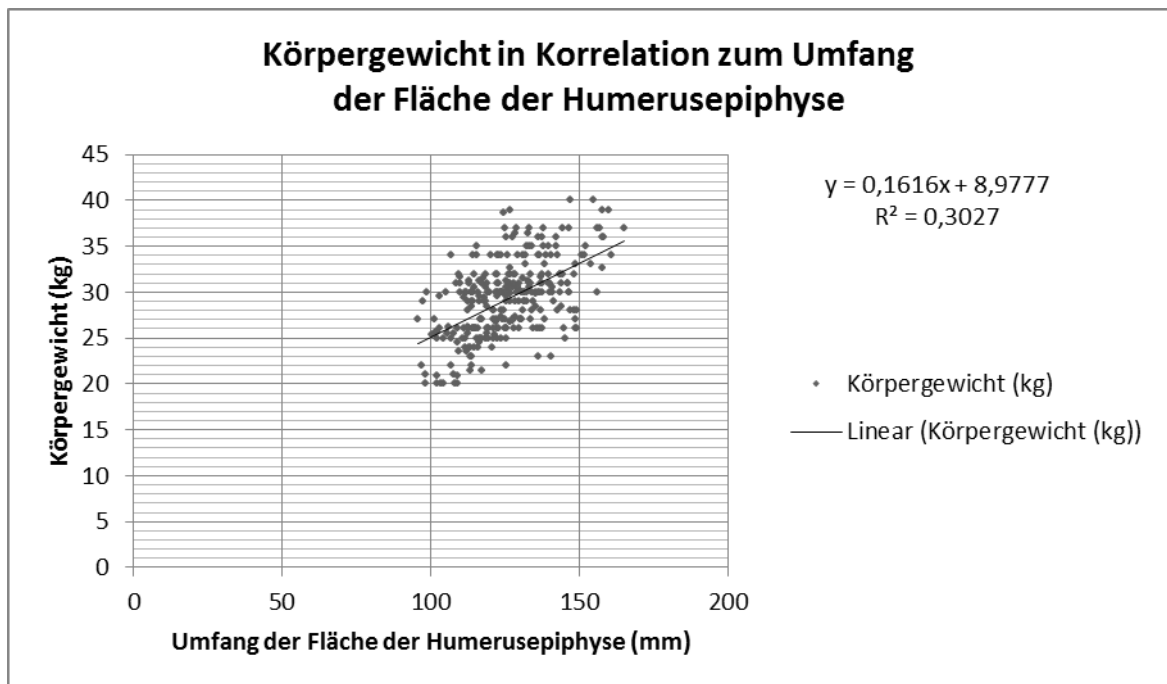


Abbildung 72: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zum Umfang der Fläche der Humerusepiphyse (mm). Auf der X-Achse wird der Umfang der Fläche der Humerusepiphyse in (mm) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

Es wird auch ein signifikanter Unterschied im gemessenen Umfang abhängig von der Lokalisation erkennbar (siehe unter 5.) Umfang D1P1/2 sowie Abbildung 66).

Bezüglich der Korrelation zwischen Rasse, Geschlecht und Lokalisation zeigt sich, dass der Labrador Retriever mit einem Mittelwert von 106,79 mm den geringsten Umfang an allen Lokalisationen aufweist, gefolgt vom Golden Retriever (108,4 mm) und dem Deutschen Schäferhund (122,53 mm) und die Hündinnen der jeweiligen Rassen immer den kleineren Flächenumfang zeigen im Vergleich zu den Rüden

**7.) Flächen-, Dichte- und Umfangsmessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes:**

**Flächenmessung ( $F_{\text{subch}}$ ):**

Die Flächenmessung im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes beträgt im Mittel für beide Schultern  $132,27 \text{ mm}^2$  mit einer Standardabweichung von  $28,79 \text{ mm}^2$  (Tabelle 19).

Es zeigt sich in der Varianzanalyse für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p = 0,0022$ , für die Rasse eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p = 0,0021$  (Tabelle 20).

Bei weiblichen Tieren ist die Fläche des subchondralen Humeruskopfes mit einem Mittelwert von  $123,47 \text{ mm}^2$  und einer Standardabweichung von  $27,53 \text{ mm}^2$  kleiner als bei den männlichen Tieren ( $142 \pm 27,03 \text{ mm}^2$ ).

Weiterhin hat der Deutsche Schäferhund eine größere Fläche des subchondralen Humeruskopfes (Mittelwert:  $149,57 \pm 27,85 \text{ mm}^2$ ) als der Labrador Retriever mit  $126,19 \pm 23,26 \text{ mm}^2$  und der Golden Retriever mit einer mittleren Fläche von  $111,93 \pm 19,82 \text{ mm}^2$  (Abbildung 73).

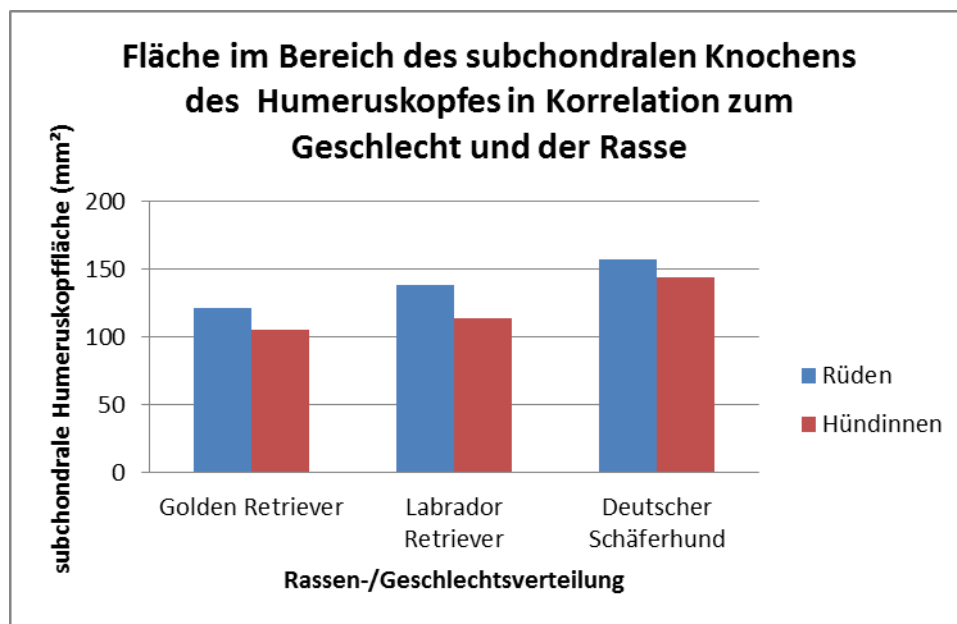


Abbildung 73: Säulendiagramm der Ausprägung der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die subchondrale Humeruskopffläche in (mm²) angegeben

Der Deutsche Schäferhund zeigt in Bezug auf die 1. Kovariable (Körpergewicht) mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (für die Hündinnen von  $28,59 \pm 2,72$  kg und für die Rüden von  $32,82 \pm 3,53$  kg) eine größere Fläche im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes um  $1,50 \text{ mm}^2$  pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 74) (Tabelle 21). Auch in der Korrelationsanalyse zeigt sich eine Abhängigkeit der Fläche des subchondralen Knochens vom Körpergewicht mit einer hohen Signifikanz von  $p < 0,001$ .

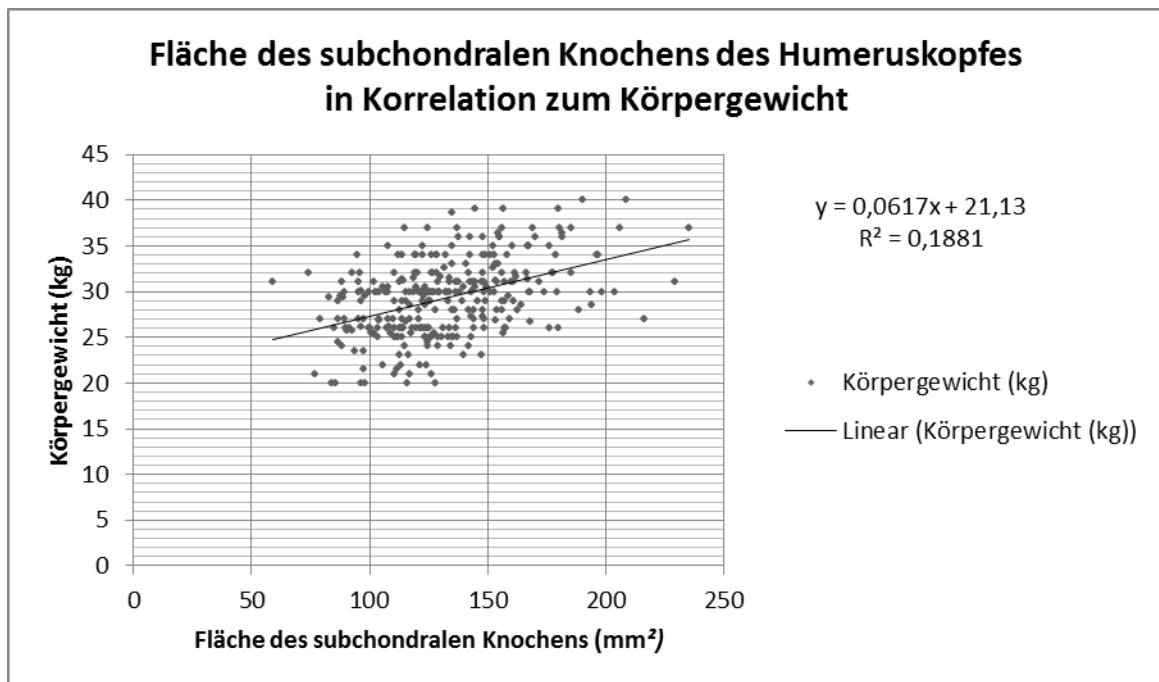


Abbildung 74: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zur Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (mm<sup>2</sup>). Auf der X-Achse wird die Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes in (mm<sup>2</sup>) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

### **Dichtemessung (D3m1/2):**

Für den Mittelwert der Dichte des subchondralen Knochens des Humeruskopfes lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 734,58 HU mit einer Standardabweichung von 59,46 HU bestimmen.

Mittels Varianzanalyse lässt sich für die Rasse eine Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation von  $p < 0,0001$  verifizieren. Diese Ergebnisse sind hochsignifikant. Zusätzlich ergibt die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse eine Signifikanz von  $p = 0,0018$ .

Der Deutsche Schäferhund hat die geringste Dichte (Mittelwert:  $702,21 \pm 48,22$  HU), gefolgt vom Golden Retriever ( $716,53 \pm 45,37$  HU), und dem Labrador Retriever ( $783,15 \pm 46,33$  HU) (Abbildung 75).

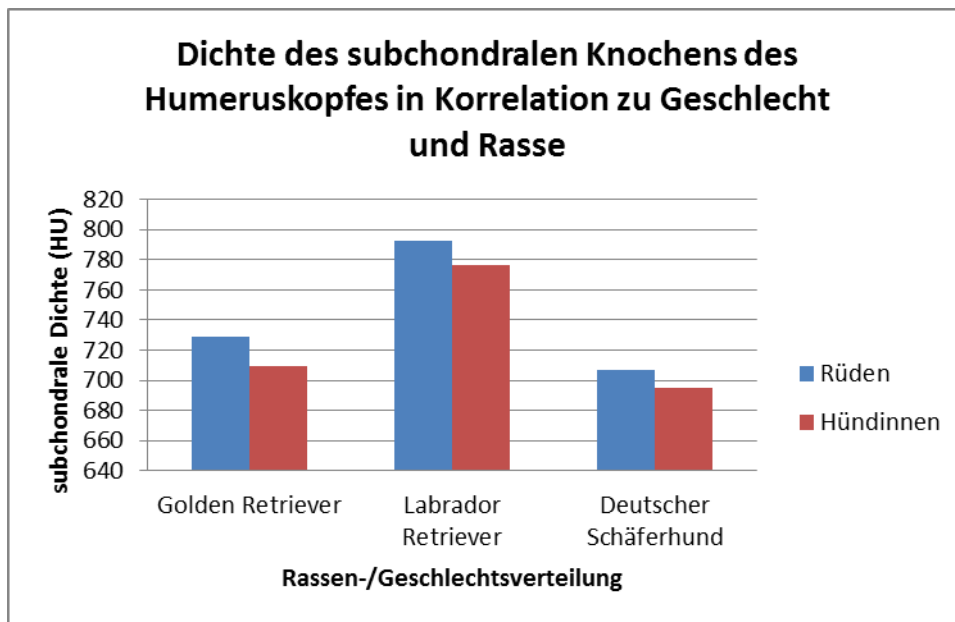


Abbildung 75: Säulendiagramm der Dichte im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (HU) in Korrelation zur Rasse und Geschlecht. Auf der Y-Achse wird die Dichte des subchondralen Knochens des Humeruskopfes in (HU) angegeben

Die Dichte im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes unterscheidet sich von der Dichte der anderen Lokalisationen und es zeigt sich eine Korrelation zwischen der Lokalisation und der Rasse (siehe unter 5.) Dichtemessung (D1m1/2) sowie Abbildung 63).

### **Umfang (D3P1/2):**

Der Umfang der Fläche im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes beträgt im Mittel für beide Schultern 102,77 mm mit einer Standardabweichung von 12,43 mm.

Es ergibt sich in der Varianzanalyse für das Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ , ebenso für die Rasse, die 1. Kovariable (Körpergewicht) und für die Lokalisation. Auch für die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse und dem Geschlecht ergibt sich eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ .

Den kleinsten Umfang weisen die Hündinnen (Mittelwert:  $98,62 \pm 11,36$  mm) im Vergleich zu den Rüden ( $107,35 \pm 12,01$  mm) auf.

Bezüglich der Signifikanz die sich für die Rasse ergibt, fällt auf, dass der Golden Retriever den kleinsten Umfang (D3P1/2) hat (Mittelwert:  $97,52 \pm 9,25$  mm), gefolgt vom Labrador Retriever ( $98,02 \pm 98,02$  mm) und dem Deutschen Schäferhund ( $110,03 \pm 12,56$  mm) (Abbildung 76).

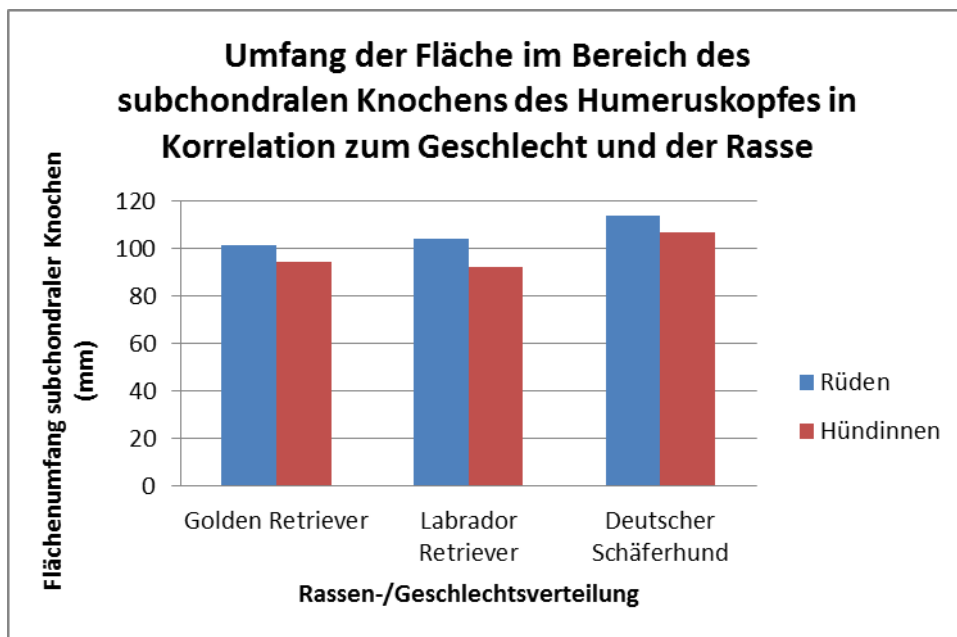


Abbildung 76: Säulendiagramm der Ausprägung des Umfanges der Fläche des subchondralen Knochens im Bereich des Humeruskopfes bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird der Flächenumfang des subchondralen Knochens des Humeruskopfes in (mm) angegeben

Es zeigt sich eine Signifikanz bezüglich der 1. Kovariable (Körpergewicht). So hat der Deutsche Schäferhund mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (Hündinnen  $28,59 \pm 2,72$  kg und Rüden  $32,82 \pm 3,53$  kg) einen größeren Umfang im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Es zeigt sich, dass bei einer Gewichtszunahme um ein Kilogramm auch der Umfang um 0,77 mm zunimmt (Tabelle 43). Auch in der Korrelationsanalyse zeigt sich eine Abhängigkeit des Umfangs der Fläche des subchondralen Knochens im Bereich des Humeruskopfes vom Körpergewicht mit einer Signifikanz von  $p < 0,001$ .

Es zeigt sich weiterhin ein signifikanter Unterschied im gemessenen Umfang abhängig von der Lokalisation (siehe unter 5.) Umfang D1P/2 sowie Abbildung 66).



Bezüglich der Korrelation zwischen Rasse, Geschlecht und Lokalisation zeigt sich, dass der Labrador Retriever mit einem Mittelwert von 106,79 mm den geringsten Umfang an allen Lokalisationen aufweist, gefolgt vom Golden Retriever (108,4 mm) und dem Deutschen Schäferhund (122,53 mm) und die Hündinnen der jeweiligen Rassen immer den kleineren Flächenumfang zeigen im Vergleich zu den Rüden

**8.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf (Hukcran/med/caud):**

Für die Dickenmessung der subchondralen Dichte im kranialen Bereich des Humeruskopfes ergibt sich ein Mittelwert für beide Schultern von 2,13 mm mit einer Standardabweichung von 0,53 mm (Tabelle 46).

Im medialen Bereich des Humeruskopfes beträgt die Dickenmessung der subchondralen Dichte im Mittel für beide Schultern 2,67 mm mit einer Standardabweichung von 0,75 mm.

Die Dickenmessung der subchondralen Dichte im kaudalen Bereich des Humeruskopfes beträgt im Mittel für beide Schultern 3,61 mm mit einer Standardabweichung von 1,09 mm.

Es ergibt sich für die Rasse in der Varianzanalyse eine Signifikanz von  $p = 0,0011$ , wie auch für die Lokalisation und für die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  (Tabelle 47).

Insgesamt zeigt der Deutsche Schäferhund mit einem für alle drei Messbereiche zusammengefassten Mittelwert von 2,95 mm die insgesamt ausgeprägteste Dicke der subchondralen Dichte, gefolgt vom Labrador Retriever (2,74 mm) und dem Golden Retriever (2,64 mm).

Die Dicke der subchondrale Knochendichte am Humeruskopf unterscheidet sich an den drei Lokalisationen (kranial/medial/caudal) deutlich.

Die subchondrale Knochendichte am Humeruskopf erreicht ihre dickste Ausprägung im kaudalen Bereich (mittlere Dicke  $3,61 \pm 1,09$  mm), gefolgt von den medialen Anteilen ( $2,67 \pm 0,75$  mm) und den kranial gelegenen Bereichen ( $2,13 \pm 0,53$  mm).

Hierbei zeigt sich, dass die subchondrale Knochendichte des Humeruskopfes kaudal beim Deutschen Schäferhund (Mittelwert:  $4,08 \pm 1,11$  mm) die dickste Ausprägung

besitzt, im Vergleich zu den anderen Rassen (Labrador Retriever mit  $3,38 \pm 3,15$  mm) (Abbildung 77).

Medial hat der subchondrale Knochen beim Labrador Retriever die größte Dicke (Mittelwert:  $2,77 \pm 0,61$  mm), gefolgt vom Deutschen Schäferhund ( $2,64 \pm 0,9$  mm) und dem Golden Retriever ( $2,55 \pm 0,64$  mm).

Die subchondrale Knochendichte ist im kranialen Bereich des Humeruskopfes beim Golden Retriever am größten (Mittelwert:  $2,24 \pm 0,44$  mm), gefolgt vom Deutschen Schäferhund ( $2,12 \pm 0,66$  mm) und dem Labrador Retriever ( $2,07 \pm 0,39$  mm).

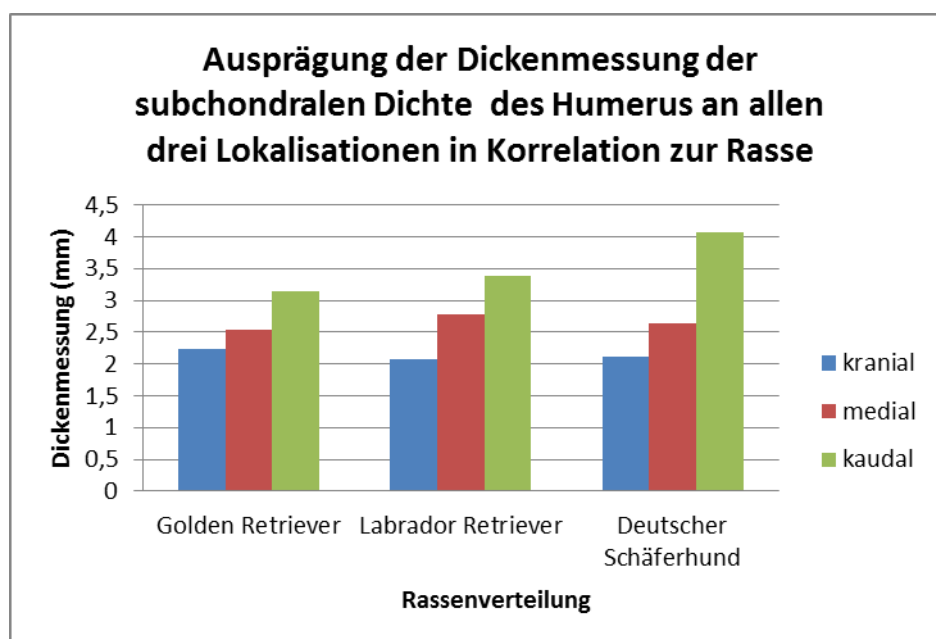


Abbildung 77: Säulendiagramm der Ausprägung der Dickenmessung der subchondralen Dichte des Humerus an allen drei Lokalisationen (kranial, medial, kaudal) in Korrelation zur Rasse. Auf der Y-Achse wird die Dickenmessung in (mm) angegeben

**9.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis (Cavcran/med/caud):**

Kranial der Skapula lässt sich für die Dickenmessung der subchondralen Dichte für beide Schultern ein Mittelwert von 3,31 mm und eine Standardabweichung von 1,02 mm berechnen (Tabelle 48).

Die Dickenmessung der subchondralen Dichte im medialen Bereich des Skapula beträgt im Mittel für beide Schultern 2,74 mm mit einer Standardabweichung von 0,65 mm.

Für die Dickenmessung der subchondralen Dichte im kaudalen Bereich des Skapula lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 3,02 mm mit einer Standardabweichung von 0,61 mm errechnen.

In der durchgeführten Varianzanalyse kann sowohl für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p = 0,0022$ , für die Rasse, für die Lokalisation sowie für die Lokalisation in Korrelation zur Rasse jeweils eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  ermittelt werden (Tabelle 49).

Der subchondrale Knochen im Bereich der Cavitas glenoidalis ist im kaudalen Bereich beim Rüden mit einer mittleren Dicke von 3,09 mm und einer Standardabweichung von 0,59 mm dicker im Vergleich zu den weiblichen Tieren ( $2,96 \pm 0,63$  mm).

Auch der subchondrale Knochen im Bereich der Cavitas glenoidalis im medialen Bereich zeigt beim Rüden mit einer mittleren Dicke von 2,83 mm ( $\pm 0,7$ ) einen Unterschied zu Hündinnen ( $2,63 \pm 0,58$  mm).

Kranial zeigt sich der subchondrale Knochen bei Rüden dicker (Mittelwert:  $3,44 \pm 1,023$  mm) als bei der Hündin ( $3,18 \pm 1,02$  mm).

Der Labrador Retriever zeigt mit einem für alle drei Messbereiche zusammengefassten Mittelwert von 3,37 mm die größte Dicke der subchondralen Dichte, gefolgt vom Golden Retriever (2,86 mm) und dem Deutschen Schäferhund (2,81 mm) (Abbildung 78).

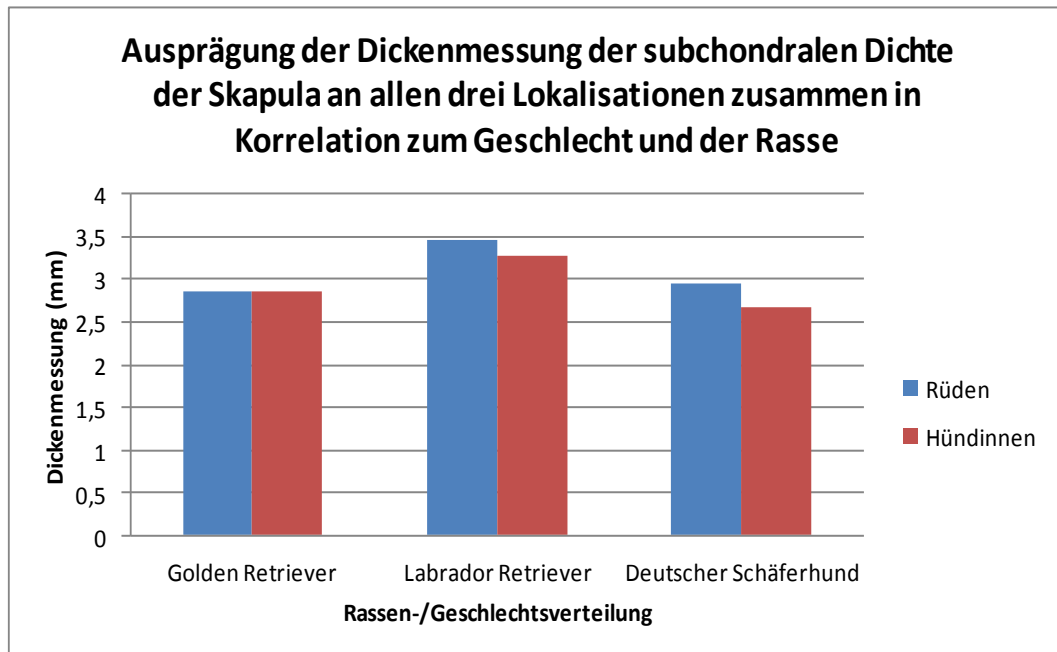


Abbildung 78: Säulendiagramm der Ausprägung der Dickenmessung der subchondralen Dichte der Skapula an allen drei Lokalisationen (kranial, medial, kaudal) zusammengefasst in Korrelation zur Rasse und dem Geschlecht. Auf der Y-Achse wird die Dickenmessung in (mm) angegeben

Weiterhin lässt sich beweisen, dass sich die Dicke der subchondrale Knochendichte an der Cavitas glenoidalis an den drei Lokalisationen (kranial/medial/kaudal) deutlich unterscheidet.

Die subchondrale Knochendichte an der Cavitas glenoidalis erreicht ihre dickste Ausprägung kranial (Mittelwert:  $3,31 \pm 1,02$  mm), gefolgt vom kaudalen Bereich ( $3,02 \pm 0,61$  mm) und den medialen Anteilen ( $2,74 \pm 0,65$  mm).

Die dickste Ausprägung kaudal lässt sich beim Labrador Retriever (Mittelwert:  $3,25 \pm 0,53$  mm) messen, gefolgt vom Deutschen Schäferhund ( $2,96 \pm 0,65$  mm) und dem Golden Retriever ( $2,79 \pm 0,55$  mm).

Der Labrador Retriever zeigt im medialen Bereich (Mittelwert:  $2,81 \pm 0,75$  mm) ebenfalls die dickste Ausprägung, gefolgt vom Deutschen Schäferhund ( $2,72 \pm 0,59$  mm) und dem Golden Retriever ( $2,66 \pm 0,57$  mm).

Auch kranial hat der Labrador Retriever die dickste Ausprägung (Mittelwert:  $4,03 \pm 1,00$  mm), danach kommt der Golden Retriever ( $3,18 \pm 0,71$  mm) und der Deutsche Schäferhund ( $2,74 \pm 0,78$  mm) (Abbildung 79).

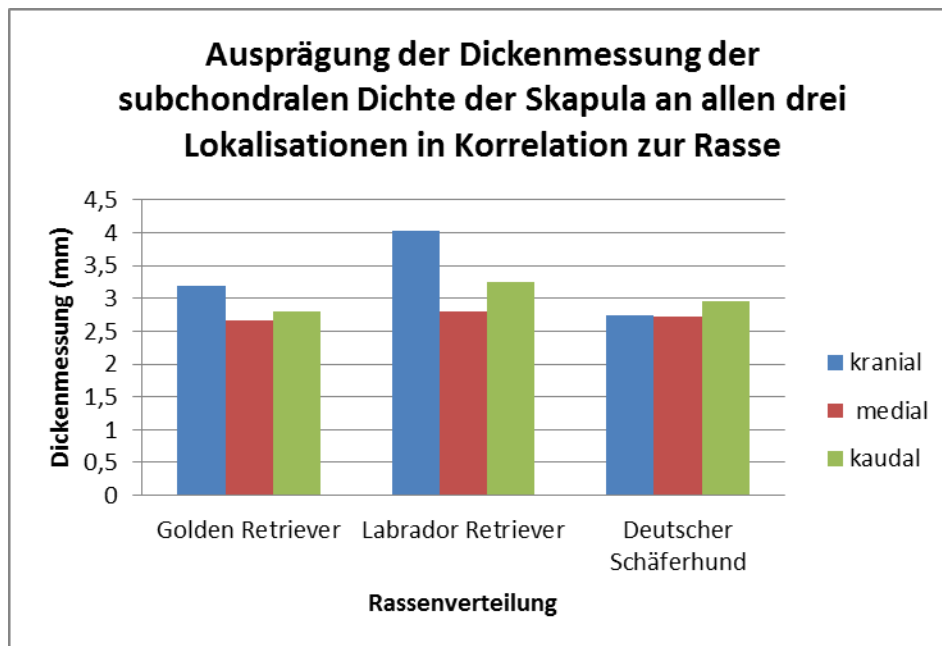


Abbildung 79: Säulendiagramm der Ausprägung der Dickenmessung der subchondralen Dichte der Skapula an allen drei Lokalisationen (kranial, medial, kaudal) in Korrelation zur Rasse. Auf der Y-Achse wird die Dickenmessung in (mm) angegeben

#### 10.) Messung der Fläche, der Dichte und des Umfangs des gelenknahen Anteils der Skapula:

##### Flächenmessung (FISkap):

Die Flächenmessung im Bereich des gelenknahen Anteils der Skapula beträgt im Mittel für beide Schultern 858,15 mm<sup>2</sup> mit einer Standardabweichung von 172,22 mm<sup>2</sup> (Tabelle 22).

In der Varianzanalyse ergibt sich für das Geschlecht, für die Rasse, für die 1. Kovariable (Körpergewicht) eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  (Tabelle 23). Für die 2. Kovariable (Alter) ergibt sich eine Signifikanz von  $p = 0,0382$ . Es zeigt sich, dass die Flächenmessung des gelenknahen Anteils der Skapula bei weiblichen Tieren mit einer mittleren Fläche von 797,42 mm<sup>2</sup> und einer Standardabweichung von 159,44 mm<sup>2</sup> kleiner ist, als bei den Rüden ( $925,29 \pm 161,35$  mm<sup>2</sup>).

Der Deutsche Schäferhund hat eine größere Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (Mittelwert:  $1003,37 \pm 139,67 \text{ mm}^2$ ) als der Labrador Retriever mit der kleinsten Ausprägung ( $725,82 \pm 106,44 \text{ mm}^2$ ) (Abbildung 80).

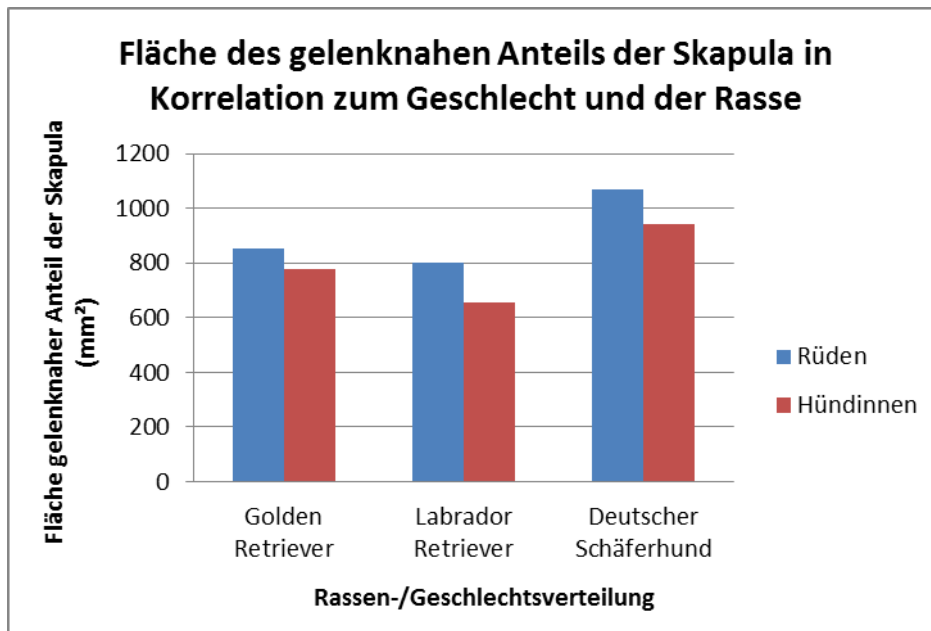


Abbildung 80: Säulendiagramm der Ausprägung der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula ( $\text{mm}^2$ ) bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula in ( $\text{mm}^2$ ) angegeben

In Bezug zur 1. Kovariablen (Körpergewicht) zeigt der Deutsche Schäferhund mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (Hündin  $28,59 \pm 2,72 \text{ kg}$  und Rüden  $32,82 \pm 3,53 \text{ kg}$ ) eine größere gelenknahe Fläche der Skapula im Vergleich zu den anderen beiden Rassen.

Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula um  $10,16 \text{ mm}^2$  pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 81) (Tabelle 24).

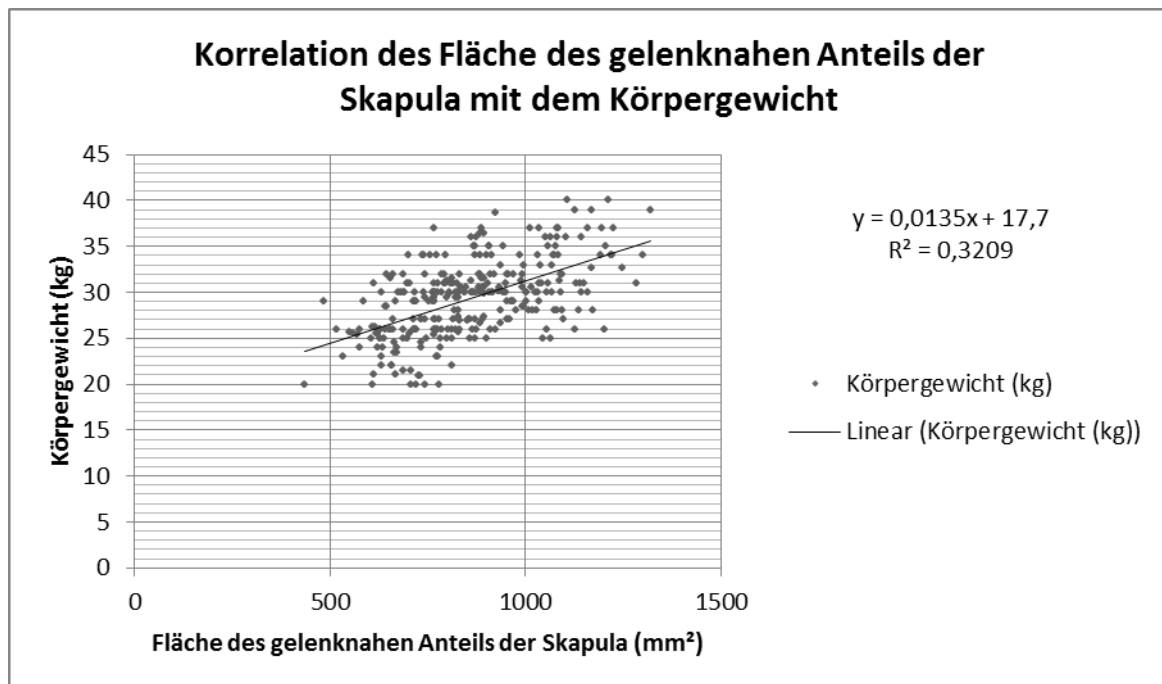


Abbildung 81: Diagrammdarstellung des Körpergewichts (kg) in Korrelation zur Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (mm²). Auf der X-Achse wird die Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (mm²) angegeben und auf der Y-Achse das Körpergewicht (kg)

Auch die Korrelationsanalyse ergibt eine Abhängigkeit der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula vom Körpergewicht mit  $p < 0,001$ .

Es zeigt sich weiterhin eine Signifikanz bezüglich der 2. Kovariable (Alter).

Hierbei zeigt sich, dass die männlichen und weiblichen Labrador Retriever im Vergleich zu den anderen Rassen bei Vorstellung im Durchschnitt am jüngsten sind (Hündinnen: im Mittel  $14,69 \pm 1,85$  Monate; Rüden: im Mittel  $14,62 \pm 1,7$  Monate) sowie die kleinste Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula aufweisen (Hündinnen: im Mittel  $653,21 \text{ mm}^2 \pm 70,63 \text{ mm}^2$ ; Rüden:  $801,31 \text{ mm}^2 \pm 82,87 \text{ mm}^2$ ).

Die Golden Retriever werden geringgradig später vorstellig (weiblich: im Mittel  $16,9 \pm 4,35$  Monate; männlich:  $15,07 \pm 2,19$  Monate) und weisen auch eine größere Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula auf (Hündinnen: im Mittel  $775,67 \pm 89,88 \text{ mm}^2$ ; Rüden: im Mittel  $854,25 \pm 99,48 \text{ mm}^2$ ). Der Deutsche Schäferhund, der mit einem Alter im Durchschnitt zwischen den beiden anderen Rassen vorstellig wird (Hündinnen: im Mittel  $15,81 \pm 3,98$  Monate; Rüden: im Mittel  $15,15 \pm 2,55$  Monate), weist die größte Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula auf (Hündinnen: im Mittel  $939,91 \pm 125,98 \text{ mm}^2$ ; Rüden: im Mittel  $1070,61 \pm 117,60 \text{ mm}^2$ ).

Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula um 4,95 mm<sup>2</sup> pro Monat Alterszunahme (Tabelle 24) (Abbildung 82).

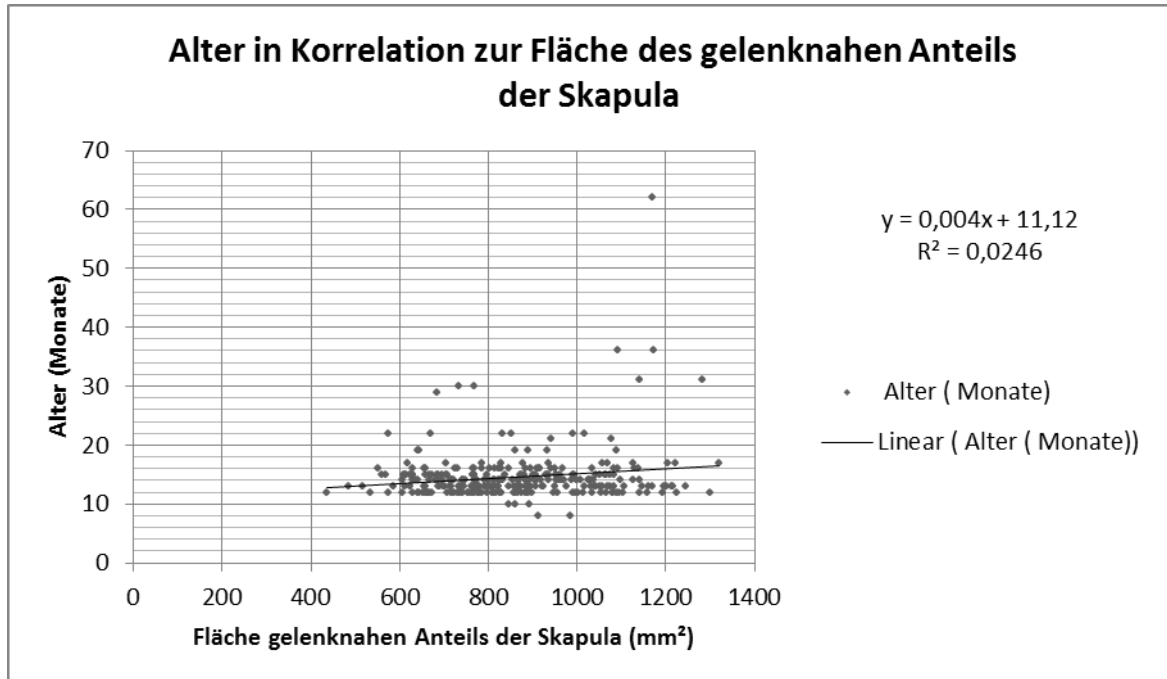


Abbildung 82: Diagrammdarstellung des Alters (Monate) in Korrelation zur Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (mm<sup>2</sup>). Auf der X-Achse wird die Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (mm<sup>2</sup>) angegeben und auf der Y-Achse das Alter in (Monate)

### **Dichtemessung (D4m1/2):**

Für die Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 662,23 HU mit einer Standardabweichung von 107,37 HU bestimmen. Mittels Varianzanalyse findet sich für die Rasse eine Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation von  $p < 0,0001$ . Diese Ergebnisse sind hochsignifikant. Weiterhin ergibt sich eine Korrelation zwischen der Rasse und der Lokalisation mit einer Signifikanz von  $p = 0,0018$ .

Die geringste Dichte weist der Deutsche Schäferhund (Mittelwert:  $578,8 \pm 84,57$  HU), gefolgt vom Golden Retriever ( $658,95 \pm 70,39$  HU) und dem Labrador Retriever ( $758,84 \pm 0,48$  HU) auf (Abbildung 83).



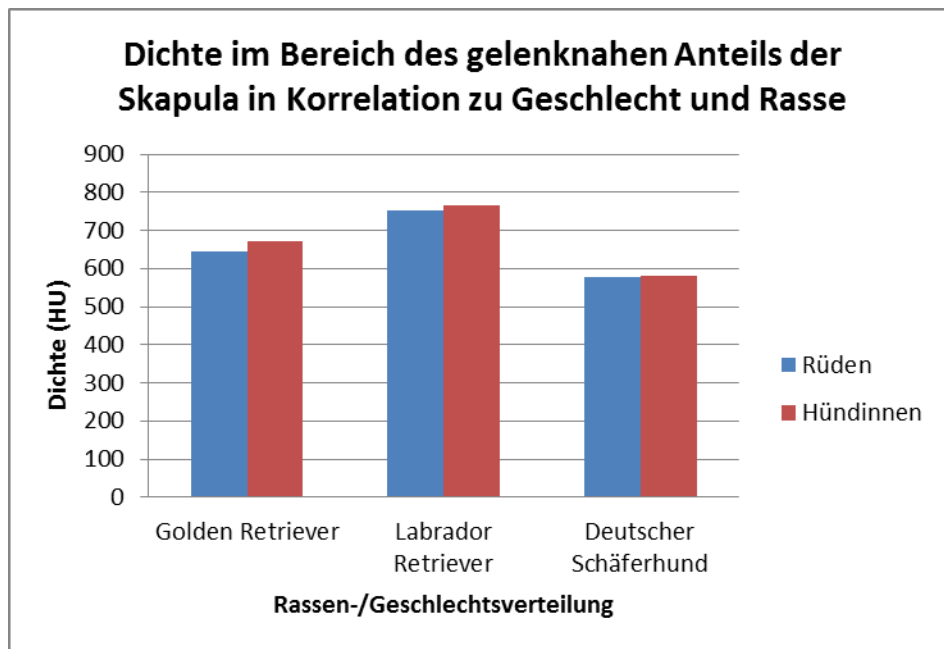


Abbildung 83: Säulendiagramm der Dichte im Bereich des gelenknahen Anteils der Skapula (HU) in Korrelation zur Rasse und Geschlecht. Auf der Y-Achse wird die Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula in (HU) angegeben

Die Dichte im Bereich des gelenknahen Anteils der Skapula unterscheidet sich von der Dichte der anderen Lokalisationen und es besteht eine Korrelation zwischen der Rasse und der Lokalisation (siehe unter 5.) Dichtemessung (D1m1/2) sowie Abbildung 63).

#### **Umfang (D4P1/2):**

Der Umfang der Fläche im Bereich des gelenknahen Anteils der Skapula beträgt im Mittel für beide Schultern 125,41 mm mit einer Standardabweichung von 11,8 mm (Tabelle 41).

In der Varianzanalyse ergibt sich für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ , für die Rasse von  $p < 0,0001$ , für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p < 0,0001$  und für die Lokalisation eine Signifikanz von  $p < 0,0001$ . Die Lokalisation in Korrelation mit der Rasse und dem Geschlecht zeigt  $p < 0,0001$ . Diese Ergebnisse stellen sich somit alle als hochsignifikant heraus.

Insgesamt weisen die Hündinnen einen kleineren Umfang auf (Mittelwert:  $120,87 \pm 11,06$  mm) als die Rüden ( $130,43 \pm 10,55$  mm).

Der Labrador Retriever hat den kleinsten Umfang (Mittelwert:  $117,22 \pm 8,25$  mm), gefolgt vom Golden Retriever ( $121,22 \pm 7,88$  mm) und dem Deutschen Schäferhund ( $135,1 \pm 9,2$  mm) (Abbildung 84).

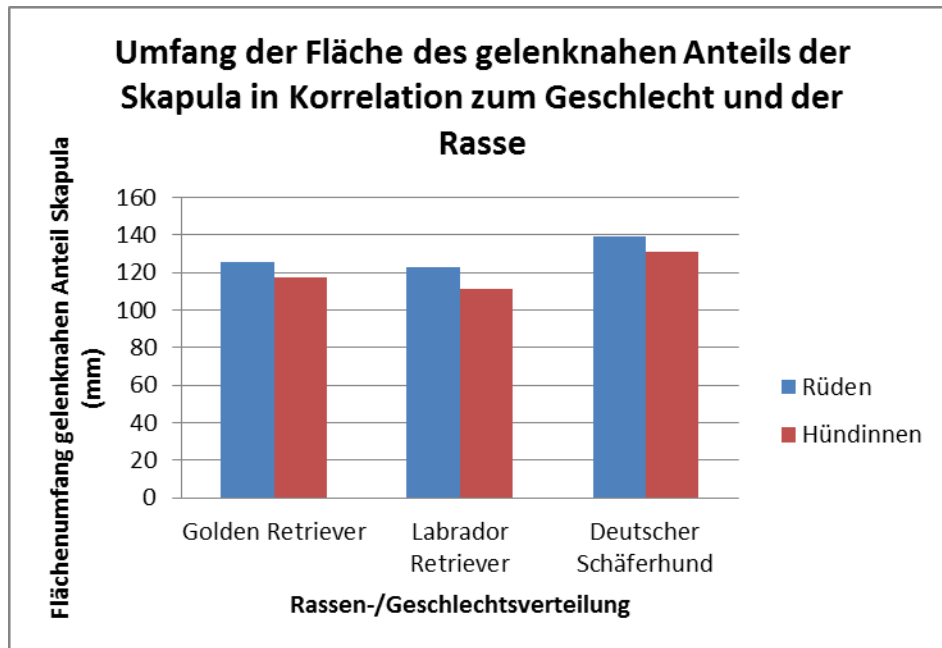


Abbildung 84: Säulendiagramm der Ausprägung des Umfanges der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird der Umfang der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula in (mm) angegeben

Es zeigt sich eine Signifikanz bezüglich der 1. Kovariable (Körpergewicht). Der Deutsche Schäferhund zeigt mit einem durchschnittlich größeren Körpergewicht (für die Hündinnen von  $28,59 \pm 2,72$  kg und für die Rüden von  $32,82 \pm 3,53$  kg) einen größeren Umfang im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. Es zeigt sich, dass bei einer Gewichtszunahme um ein Kilogramm auch der Umfang um 0,77 mm zunimmt (Tabelle 43). Auch in der Korrelationsanalyse ergibt sich eine Abhängigkeit der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula vom Körpergewicht.

Weiterhin zeigt sich ein signifikanter Unterschied im gemessenen Umfang abhängig von der Lokalisation (siehe unter 5.) Umfang D1P1/2 sowie Abbildung 66). Bezüglich der Korrelation zwischen Rasse, Geschlecht und Lokalisation zeigt sich, dass der

Labrador Retriever mit einem Mittelwert von 106,79 mm den geringsten Umfang an allen Lokalisationen aufweist, gefolgt vom Golden Retriever (108,4 mm) und dem Deutschen Schäferhund (122,53 mm) und die Hündinnen der jeweiligen Rassen immer den kleineren Flächenumfang zeigen, im Vergleich zu den Rüden

**11.) Messung des *kraniokaudalen Abstandes (AbstCav)* und der Tiefe der *Cavitas glenoidalis (TiefCav)*:**

***kraniokaudaler Abstand (AbstCav)*:**

Für den kraniokaudalen Abstand lässt sich für beide Schultern ein Mittelwert von 29,51 mm mit einer Standardabweichung von 2,78 mm berechnen (Tabelle 25).

Es ergibt sich in der Varianzanalyse für das Geschlecht, für die Rasse und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) jeweils eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  (Tabelle 26).

Der geschlechtsabhängige Mittelwert für die Messung des kraniokaudalen Abstandes, ergibt für weibliche Tiere einen Mittelwert von 28,34 mm mit einer Standardabweichung von 2,63 mm sowie für männliche Tiere eine Länge von 30,80 mm mit einer Standardabweichung von 2,34 mm. Somit ist der kraniokaudale Abstand bei weiblichen Tieren kürzer als bei männlichen Tieren.

Der Deutsche Schäferhund hat mit einem mittleren Abstand von 31,73 mm ( $\pm 2,36$ ) den größten Abstand im Vergleich zu den beiden anderen Rassen, (Labrador Retriever:  $28,05 \pm 1,86$  mm und Golden Retriever:  $27,93 \pm 1,91$  mm) (Abbildung 85).

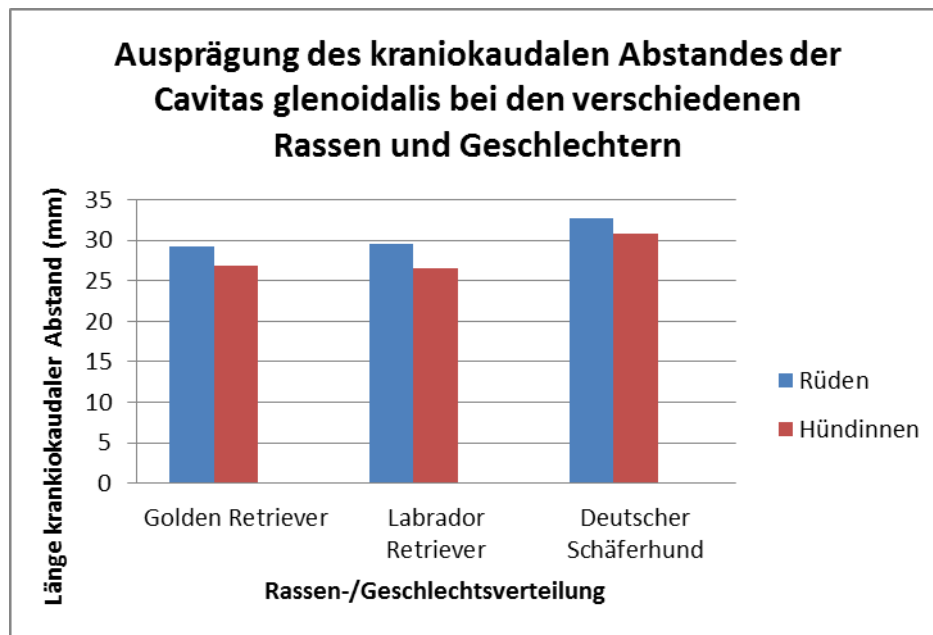


Abbildung 85: Säulendiagramm der Ausprägung des kraniokaudalen Abstandes der Cavitas glenoidalis bei den verschiedenen Rassen sowie den verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Länge des kraniokaudalen Abstandes der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben

Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme des kraniokaudalen Abstandes um 0,16 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 86) (Tabelle 27). Auch in der Korrelationsanalyse wird eine Abhängigkeit des Abstandes der Cavitas glenoidalis vom Körpergewicht ersichtlich.

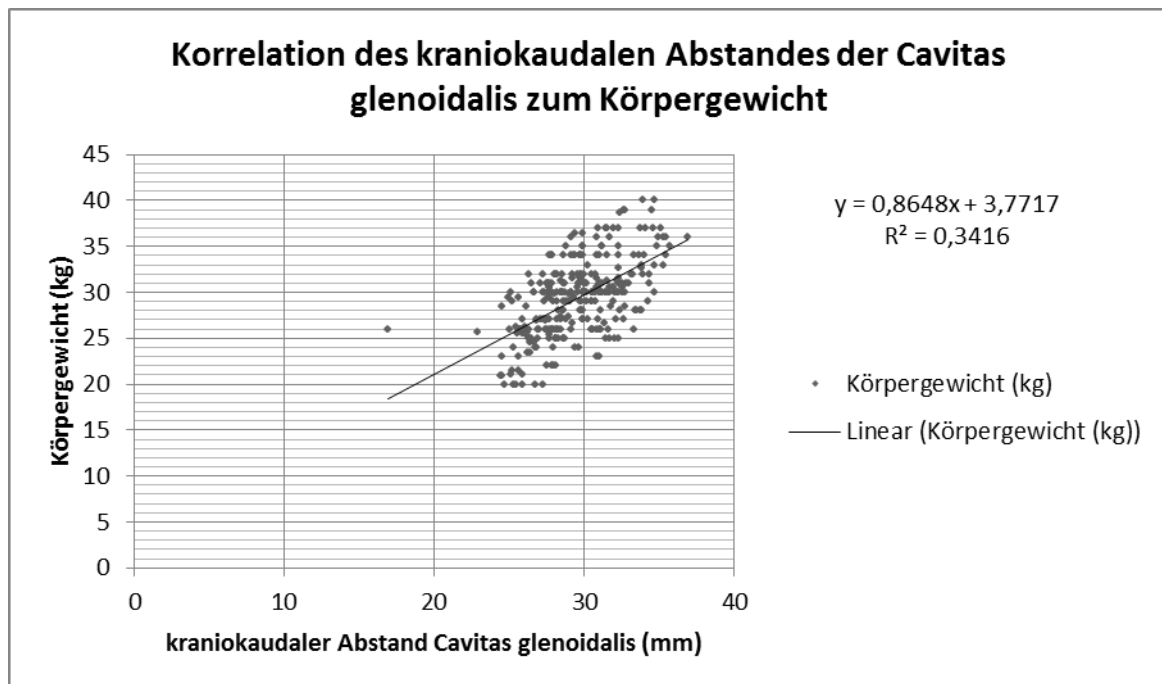


Abbildung 86: Diagrammdarstellung des kraniokaudalen Abstandes der Cavitas glenoidalis (mm) in Korrelation zum Körpergewicht. Auf der X-Achse wird der kraniokaudale Abstand der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben, auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

### **Tiefe der Cavitas glenoidalis (TiefCav):**

Die Messung der Tiefe der Cavitas glenoidalis beträgt im Mittel für beide Schultern 6,99 mm mit einer Standardabweichung von 0,89 mm (Tabelle 28).

Die Varianzanalyse ergibt für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p = 0,0003$ , für die Rasse von  $p = 0,0011$  und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p = 0,0037$  (Tabelle 29).

Die weiblichen Tiere zeigen eine mittlere Tiefe der Cavitas glenoidalis von 6,68 mm ( $\pm 0,81$ ) die Rüden von 7,34 mm ( $\pm 0,84$ ). Die größte Tiefe besitzt der Deutsche Schäferhund (Mittelwert:  $7,3 \pm 0,89$  mm) gefolgt vom Labrador Retriever ( $6,87 \pm 0,76$  mm) und dem Golden Retriever ( $6,67 \pm 0,92$  mm) (Abbildung 87).

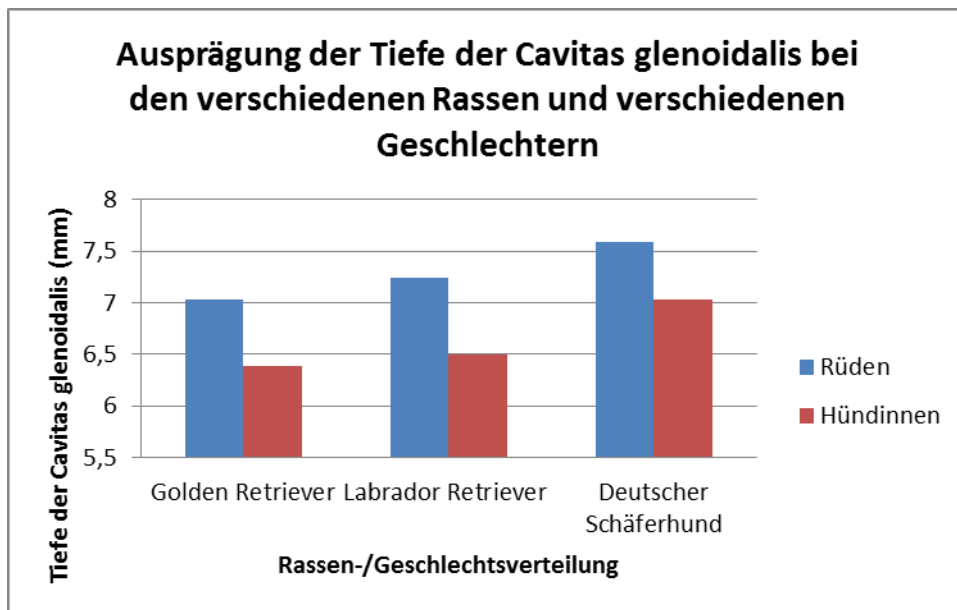


Abbildung 87: Säulendiagramm der Ausprägung der Tiefe der Cavitas glenoidalis (mm) bei den verschiedenen Rassen und verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Tiefe der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben

Die Tiefe der Cavitas glenoidalis nimmt durchschnittlich um 0,05 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme zu (Abbildung 88) (Tabelle 30).

Auch aus der Korrelationsanalyse wird eine Abhängigkeit der Tiefe der Cavitas glenoidalis vom Körpergewicht mit  $p < 0,001$  ersichtlich.

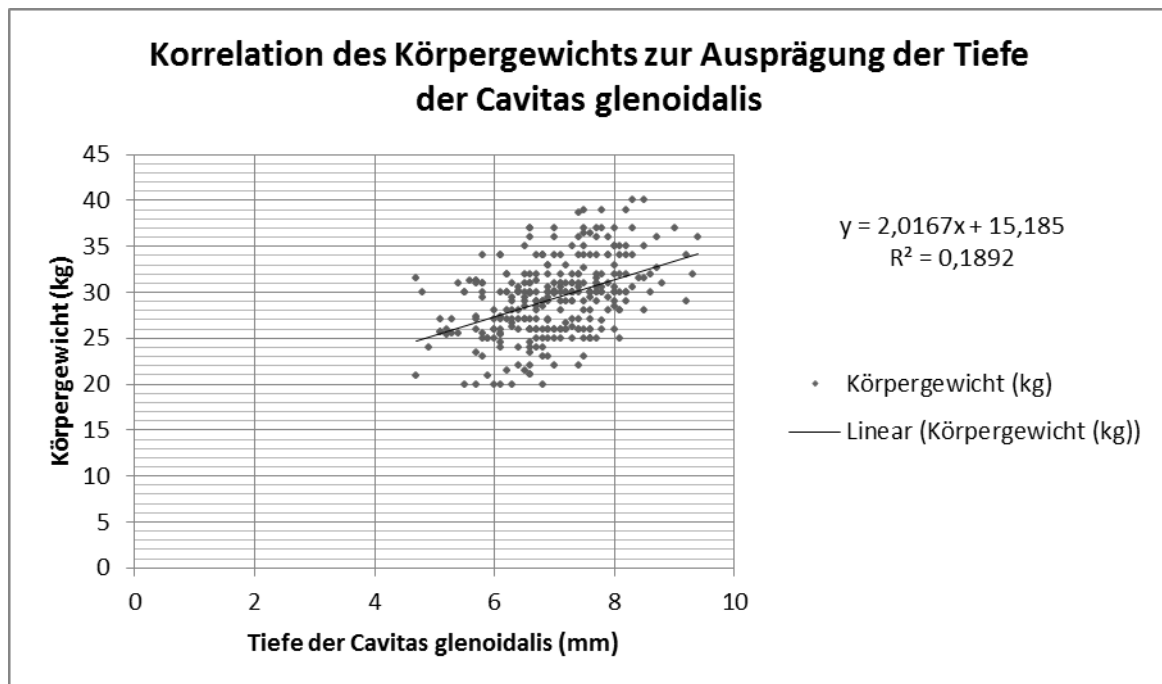


Abbildung 88: Diagrammdarstellung der Ausprägung der Tiefe der Cavitas glenoidalis in Korrelation zum Körpergewicht. Auf der X-Achse wird die Tiefe der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben, auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

## 12.) Messung der Länge der Cavitas glenoidalis (LaengCv):

Bei beiden Schultern beträgt die Messung der Länge der Cavitas glenoidalis im Mittel 32,99 mm mit einer Standardabweichung von 2,98 mm (Tabelle 31).

Die Varianzanalyse ergibt für das Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$ , für die Rasse von  $p < 0,0001$  und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) von  $p < 0,0001$  (Tabelle 32).

Die Messung der Länge der Cavitas glenoidalis ergibt für weibliche Tiere eine mittlere Länge von 31,7 mm ( $\pm 2,65$ ) sowie für Rüden von 34,43 mm ( $\pm 2,66$ ).

Die Rasse Deutscher Schäferhund zeigt mit einer mittleren Länge von 35,39 mm und einer Standardabweichung von 2,39 mm eine deutlich größere Länge im Vergleich zu den anderen beiden Rassen (Labrador Retriever: Mittelwert:  $31,45 \pm 2,12$  mm und dem Golden Retriever  $31,24 \pm 2,12$  mm) (Abbildung 89).

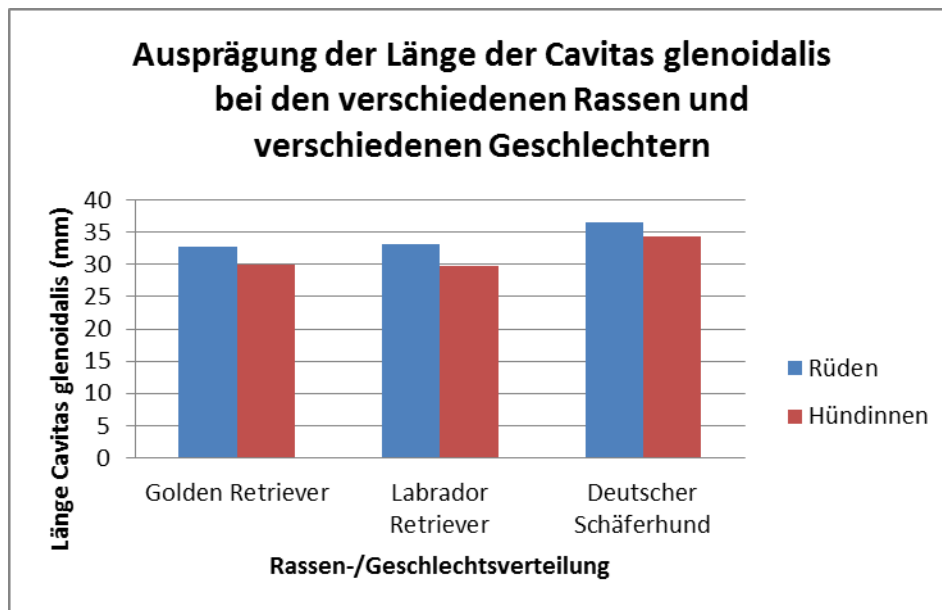


Abbildung 89: Säulendiagramm der Ausprägung der Länge der Cavitas glenoidalis (mm) bei den verschiedenen Rassen und verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Länge der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben

Es kommt zu einer durchschnittlichen Zunahme der Länge der Cavitas glenoidalis um 0,18 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 90) (Tabelle 33).

In der Korrelationsanalyse zeigt sich eine Abhängigkeit der Länge der Cavitas glenoidalis vom Körpergewicht mit  $p < 0,001$ .



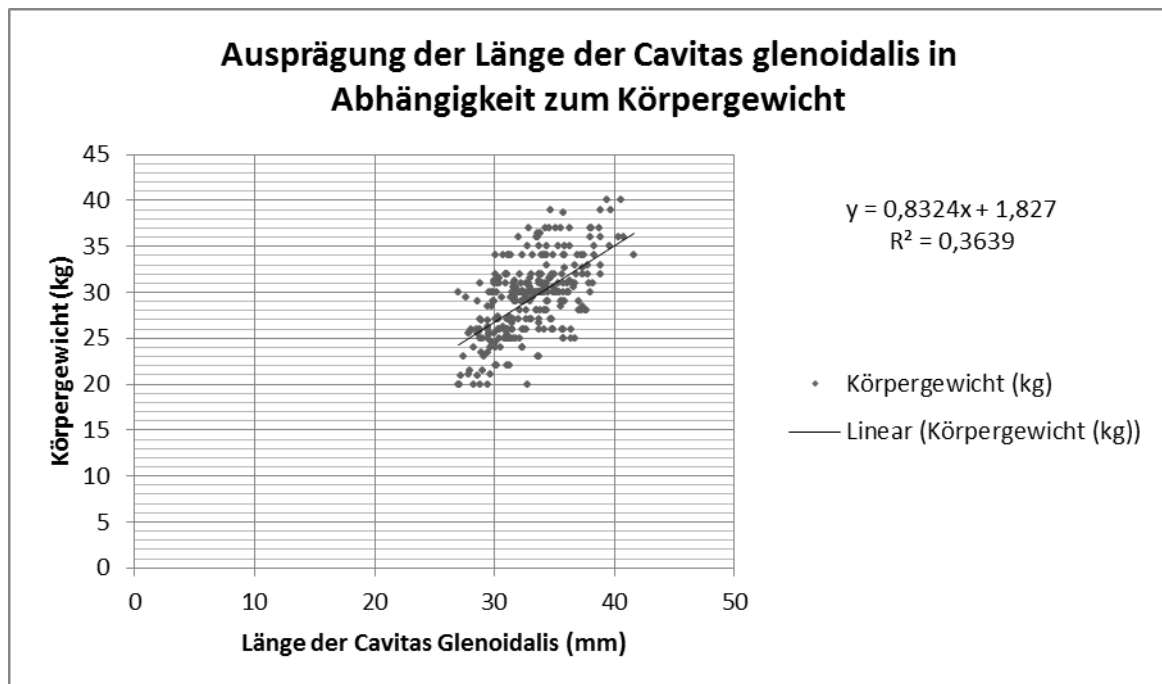


Abbildung 90: Diagrammdarstellung der Ausprägung der Länge der Cavitas glenoidalis in Korrelation zum Körpergewicht. Auf der X-Achse wird die Länge der Cavitas glenoidalis in (mm) angegeben, auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

### 13.) Messung der Tiefe (TiefSul) und des Abstandes des Suclus intertubercularis (AbstSul):

#### Tiefe (TiefSul):

Die Messung der Tiefe des Sulcus intertubercularis beträgt im Mittel für beide Schultern 7,40 mm mit einer Standardabweichung von 1,35 mm (Tabelle 37).

In der Varianzanalyse ergibt sich für das Geschlecht eine hohe Signifikanz von  $p < 0,0001$  und für die Rasse eine Signifikanz von  $p = 0,0002$  (Tabelle 38).

Es zeigt sich, dass die Tiefe des Sulcus intertubercularis bei weiblichen Tieren (Mittelwert:  $6,97 \pm 1,20$  mm) kleiner ist als bei den Rüden ( $7,89 \pm 1,34$  mm) (Abbildung 91).

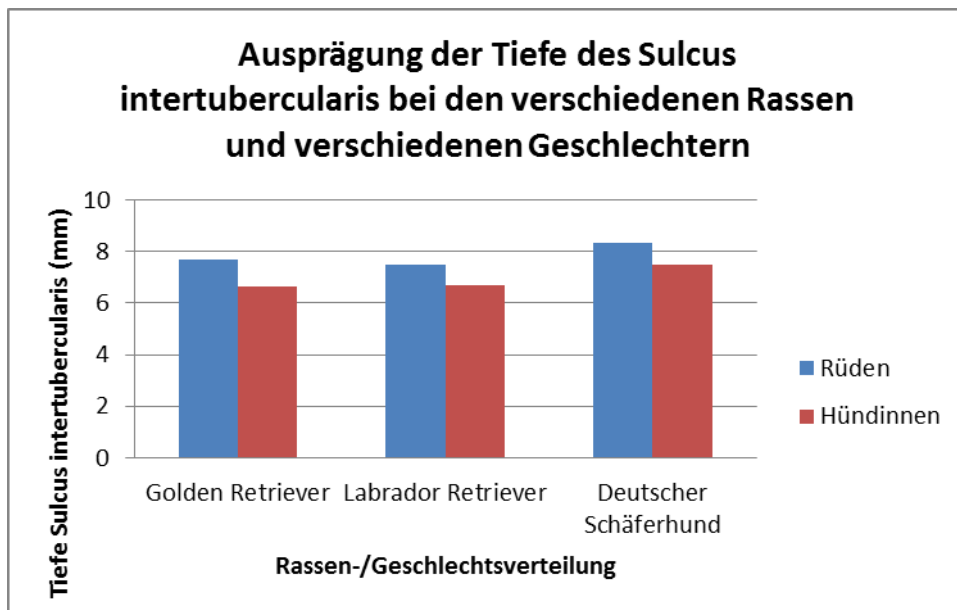


Abbildung 91: Säulendiagramm der Ausprägung der Tiefe Sulcus intertubercularis (mm) bei den verschiedenen Rassen und verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird die Tiefe des Sulcus intertubercularis in (mm) angegeben

Die größte Tiefe des Sulcus intertubercularis hat der Deutsche Schäferhund (Mittelwert: 7,91 mm), gefolgt vom Golden Retriever (7,18 mm) und dem Labrador Retriever (7,08 mm).

Die Korrelationsanalyse zeigt eine Abhängigkeit der Tiefe des Sulcus vom Körpergewicht mit einer hohen Signifikanz von  $p < 0,001$  (Abbildung 92).

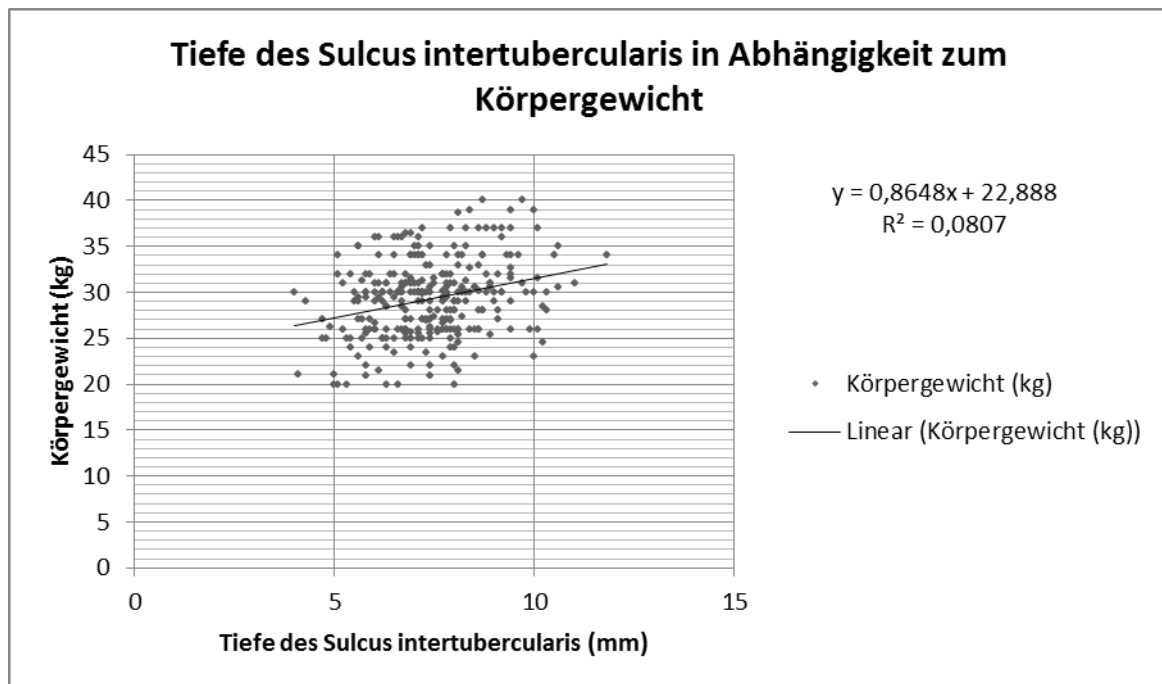


Abbildung 92: Diagrammdarstellung der Ausprägung der Tiefe des Sulcus intertubercularis in Korrelation zum Körpergewicht. Auf der X-Achse wird die Tiefe des Sulcus intertubercularis in (mm) angegeben, auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

### **Abstand des Suclus intertubercularis (AbstSul):**

Für beide Schultern ergibt die Messung des Abstandes des Sulcus intertubercularis im Mittel 15,75 mm mit einer Standardabweichung von 1,63 mm (Tabelle 34).

Die Varianzanalyse ergibt für das Geschlecht eine Signifikanz von  $p = 0,0002$  und für die 1. Kovariable (Körpergewicht) eine Signifikanz von  $p = 0,0008$  (Tabelle 35).

Der geschlechtsabhängige Mittelwert für die Messung des Abstandes des Sulcus intertubercularis ergibt für weibliche Tiere eine mittlere Länge von 15,12 mm mit einer Standardabweichung von 1,51 mm sowie für männliche Tiere eine mittlere Länge von 16,45 mm mit einer Standardabweichung von 1,47 mm (Abbildung 93).

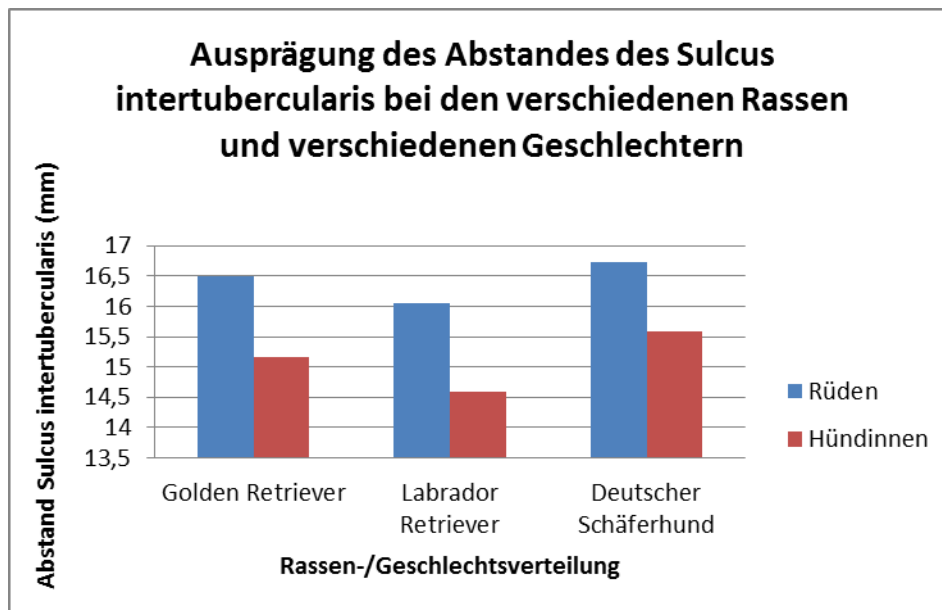


Abbildung 93: Säulendiagramm der Ausprägung des Abstandes des Sulcus intertubercularis (mm) bei den verschiedenen Rassen und verschiedenen Geschlechtern. Auf der Y-Achse wird der Abstand des Sulcus intertubercularis in (mm) angegeben

Es zeigt sich eine durchschnittliche Zunahme des Abstandes des Sulcus intertubercularis um 0,10 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme (Abbildung 94) (Tabelle 36). Die Korrelationsanalyse errechnet eine Abhängigkeit des Abstandes des Sulcus vom Körpergewicht mit einer Signifikanz mit  $p < 0,001$ .

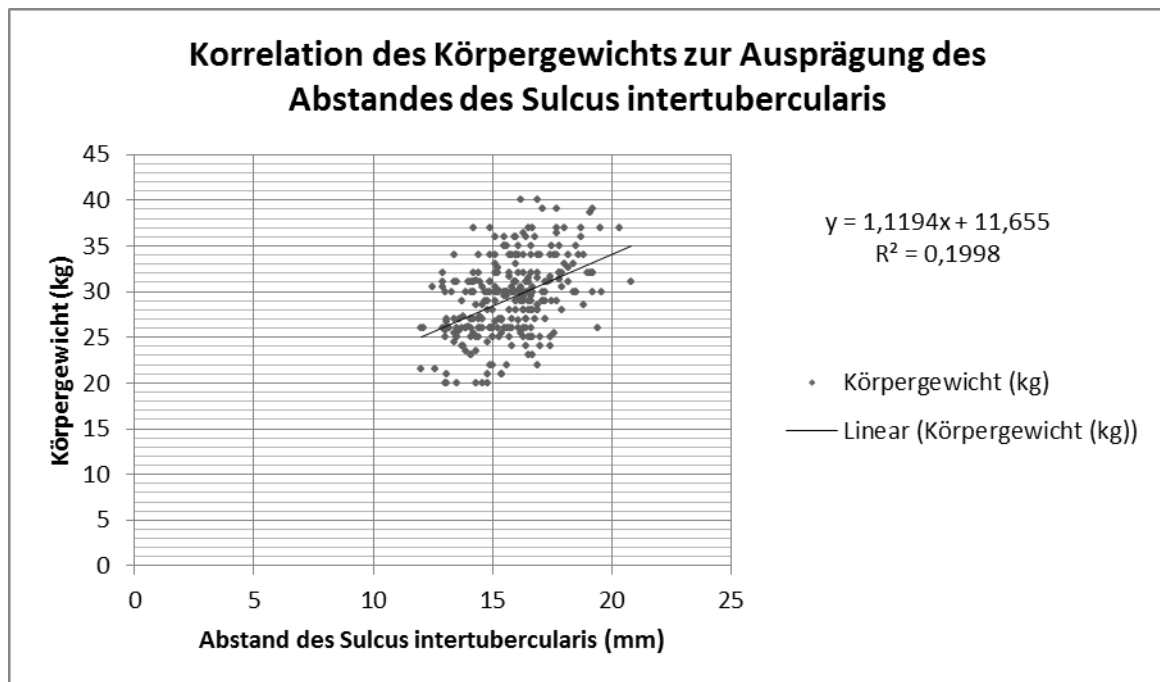


Abbildung 94: Diagrammdarstellung der Ausprägung des Abstandes des Sulcus intertubercularis in Korrelation zum Körpergewicht. Auf der X-Achse wird der Abstand des Sulcus intertubercularis in (mm) angegeben, auf der Y-Achse das Körpergewicht in (kg)

### **Seitenvergleich zwischen rechter und linker Schulter:**

Die Korrelationsanalyse zwischen rechter und linker Schulter zeigt eine Signifikanz von  $p < 0,05$  beim Vergleich der beiden Gliedmaßen. So zeigt zum Beispiel die rechte Schulter im Durchschnitt einen Schultergelenkwinkel von  $165,53^\circ$ , während die linke Schulter im Durchschnitt einen Schultergelenkwinkel von  $165,78^\circ$  erreicht. Insgesamt zeigen sich somit nur geringgradige Messwertabweichungen zwischen rechter und linker Schulter.

## **5 Diskussion**

### **5.1 Allgemeines**

Ziel und Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit ist es, mit Hilfe der Computertomographie (CT) Schnittbild - anatomische Befunde und ihre Variationen bei großen Hunderassen (Deutscher Schäferhund, Labrador Retriever und Golden Retriever) am Schultergelenk zu erheben.

### **5.2 Studiendesign**

Aufgrund der geringgradigen Ungleichheiten des Geschlechterverhältnisse, der Rasseverteilung, des Körpergewichtes und der Altersverteilung kommt es zu einer Beeinflussung der Basisdaten.

Die Altersverteilung variiert zwischen dem 14-17 Lebensmonat, allerdings zeigt sich im Verhältnis zur durchschnittlichen Lebenserwartung der untersuchten Rassen (z.B. Deutscher Schäferhund etwa 10 Jahre) eine geringgradige Variation (Raith et al. 2010). Eine Limitation erfährt die vorliegende Studie durch die Tatsache, dass die Daten der in dieser Studie verwendeten Hunde nur von einem einzelnen Untersuchungszeitpunkt stammen und keine Verlaufskontrolle darstellen.

Die Gewichtsverteilung variiert zwischen 25–33 kg Körpergewicht (KGW) für alle drei Rassen. Hierbei muss beachtet werden, dass für den Deutschen Schäferhund z.B. eine größere Gewichtsspanne vorliegt als für den Labrador bzw. Golden Retriever, sowie für den Deutschen Schäferhund deutliche Geschlechtsunterschiede bestehen (Rüden: 30-40 kg KGW; Hündin: 22-32 kg KGW) (Krämer, 2004).

Eine genaue Anamnese der Hunde wird nicht erhoben (z.B. Abstammung, frühere Lahmheiten, Umwelteinflüsse oder der Verwendungszweck der Hunde) (Cogar et al., 2008). Allen untersuchten Hunden ist gemeinsam, dass sie zur offiziellen

Zuchtuntersuchung auf Hüftgelenksdysplasie (HD) und Ellbogengelenksdysplasie (ED) in der Klinik vorgestellt werden. Es werden keine HD- oder ED-Befunde in die Studie mit einbezogen, obwohl sie einen Einfluss auf eine veränderte Belastung der Schultergelenke bei vorhandener Ellbogengelenksdysplasie haben könnten (Morgan et al., 1999).

Einen weiteren Diskussionsgrund stellt die Rasseauswahl dar, da es sich bei den drei ausgewählten Rassen um mittlere bis große Hunderassen handelt und zum Vergleich keine Klein- oder Riesenrassen untersucht werden.

Die untersuchten Rassen sind für orthopädische Erkrankung des Schultergelenks prädisponiert. Diese Annahme wird in der Studie von LAFOND und Mitarbeiter (2002) bekräftigt, in der die Daten von 10 Tierkliniken im Zeitraum 1986-1995 ausgewertet werden. Die Osteochondrose der Schulter kommt am häufigsten beim Labrador Retriever (308) vor, wohingegen der Golden Retriever 261 Fälle und der Deutsche Schäferhund lediglich 35-mal erkrankt ist. Dies lässt eine genetische Komponente beim Labrador Retriever vermuten.

Eine Heritabilität des Labrador Retrievers für Osteochondrose am Schultergelenk wird zusätzlich noch von einer weiteren veterinärmedizinischen Studie von MORGAN et al., (1999) bekräftigt. Sie stellt einen Bezug zwischen dem gelegentlichen Auftreten der Osteochondrose der Schulter in Kombination mit Ellbogengelenkserkrankungen her. Auch kann ein Einfluss des Geschlechts für das Auftreten der Osteochondrose festgestellt werden (Prädisposition Rüden) (Morgan et al., 1999). KUNKEL und ROCHAT, (2008) und PIERMATTEI et al. (2006) beschreiben die Osteochondrose an der Schulter als Erkrankung, die vor allem bei großwüchsigen Rassen und männlichen Tieren auftritt, wobei 27-68% der Läsionen bilateral sind.

Das Alter muss bezüglich der Entwicklung einer Osteochondrose nicht berücksichtigt werden, da Defekte sich in der Regel in dem 4-10 Lebensmonat entwickeln. Angenommen wird, dass ein Hund mit einer Gelenkserkrankung auch oft weitere Erkrankungen an anderen Gelenken entwickelt. Weitere Prädispositionen sind ein schnelles Wachstum, ein großes Körpergewicht und weitere von Umweltfaktoren wie der Fütterung abhängige genetische Komponenten (Morgan et al., 1999).

Der Labrador Retriever ist aber auch bei anderen Schultergelenkserkrankungen deutlich häufiger betroffen als andere Rassen, z.B. wird die Ossifikation der Bursa

des *M. infraspinatus* ausschließlich bei dieser Rasse beschrieben (McKee und Macias, 2011).

Die veterinärmedizinische Studie von UNKEL-MOHRMANN (1999) zeigt, dass in einem Zeitraum von 8 Jahren der Deutsche Schäferhund mit 12,7% einen großen Prozentsatz an orthopädischen Erkrankungen aufweist. Hier stehen die Wirbelsäulen- und Hüftgelenkserkrankungen an erster Stelle, gefolgt von Knie- und Ellbogengelenkserkrankungen, das Schultergelenk ist deutlich seltener betroffen (Unkel-Mohrmann, 1999; Raith, 2010).

Insgesamt kann man sagen, dass die meisten orthopädischen Erkrankungen wahrscheinlich eine multifaktorielle Genese haben und noch durch Umweltfaktoren beeinflusst werden. Rasseprädispositionen für eine orthopädische Erkrankung sind häufig ein Hinweis auf eine genetische Komponente. Da die Ernährung eine große Rolle bei der Entstehung von solchen Erkrankungen spielt, sollte vor allem bei wachsenden Tieren eine exzessive Energieaufnahme, übermäßige Kalziumaufnahme und Elektrolytimbalancen vermieden werden (LaFond et al., 2002). Aufgrund der Festlegung auf drei Rassen in der vorliegenden Studie, die alle etwa im gleichen Alter und unkastriert untersucht werden, liegt zwar eine sehr eingeschränkte Gruppe zur Erfassung der anatomischen Verhältnisse am Schultergelenk vor, allerdings auch zugleich eine homogene Gruppe (von besonders häufig betroffenen Hunderassen), was wiederum die Auswertung der Daten verlässlicher macht.

Bei 10 Patienten werden nur die Daten von einer Schulter in die Untersuchung mit aufgenommen, da die kontralaterale Schulter röntgenologische Veränderungen aufweist (wie z.B. ein separates Ossifikationszentrum des kaudalen Glenoids oder eine geringstgradige Verschattung im Sulcus intertubercularis. Da die pathologische Relevanz dieser Veränderungen nicht geklärt ist (ggf. bei separatem Ossifikationszentrum vorhanden), werden diese Gelenke aus der Studie ausgeschlossen (Olivieri et al., 2004; Kunkel und Rochat, 2008). Da bei 27-68 % von Schulterläsionen im Rahmen einer Osteochondrose ein bilaterales Auftreten beschrieben wird, wird streng darauf geachtet, dass auch die zweite Seite frei von Veränderungen ist, um in die Studie einfließen zu können (Piermattei et al., 2006; Kunkel und Rochat, 2008).



---

## 5.3 Material der Untersuchung

### 5.3.1 CT-Untersuchung des Schultergelenks

Vorteil der Computertomographie (CT) ist die deutliche Darstellung der knöchernen Verhältnisse am Schultergelenk, was die Erfassung von osteometrischen Parametern und biometrischen Daten ermöglicht. Die Aufnahmen werden mit einer hervorragenden Hochkontrastauflösung angefertigt. Hohe Dichteunterschiede zwischen dem Knochen- und Weichteilgewebe, wie auch Dichteunterschiede im kortikalen und spongiösen Knochen führen zu einer kontrastreichen und detaillierten Darstellung (Linsenmaier et al., 2003; Gielen und van Bree, 2004; Karabork et al., 2009). Die CT zeigt einen deutlichen Vorteil gegenüber dem konventionellen Röntgen aufgrund der überlagerungsfreien Darstellungsmöglichkeiten. Der Vorteil des CT gegenüber der Magnetresonanztomographie (MRT) ist die kürzere Untersuchungszeit. Nachteilig sind die höheren Kosten gegenüber Röntgen, die notwendige Vollnarkose und eine höhere Strahlenbelastung für den Patienten im Vergleich zum Röntgen und MRT (Hecht und Morandi, 2008).

Limitationen erfährt die CT bei der Darstellung von Weichteilgewebe, hierfür eignen sich der Ultraschall und die MRT deutlich besser (Kramer et al., 1997; Kramer et al., 2001; Gielen und van Bree, 2004; Hecht und Morandi, 2008). Mit Hilfe der CT kann allerdings im Gegensatz zu den anderen bildgebenden Verfahren das gesamte Gelenk in allen Ebenen untersucht, eine 3D-Rekonstruktion angefertigt, sowie Messungen nachträglich durchgeführt werden (Randelli und Gabrioli, 1986).

Die Magnetresonanztomographie kann so gut wie jede pathologische Veränderung am Schultergelenk detektieren, zeigt allerdings deutliche Beschränkungen bei der Darstellung knöcherner Veränderungen (Hedtmann et al., 2001). Die MRT ist zeitaufwendiger, hebt dafür aber die Weichteilkontraste hervor und weist keinerlei Strahlenbelastung auf (Hecht und Morandi, 2008).

In der Humanmedizin erweist sich die MRT im Bezug zur Diagnostik von Erkrankungen des Labrums und von Läsionen, die mit einer Schulterinstabilität einhergehen der CT überlegen. Ebenso wird sie eingesetzt zur Darstellung des Gelenkknorpels und der Gelenkflüssigkeit (Hendrickx und Krahn-Peters, 2001; Cook

et al., 2005). In der Veterinärmedizin gibt es nur wenige Daten der CT- und MRT-Beurteilung des Schultergelenks da diese Verfahren nicht routinemäßig eingesetzt werden. Der Ultraschall hat im Gegensatz zu den anderen beiden Verfahren seine Limitation aufgrund der Zugänglichkeit der anatomischen Strukturen z.B. in das Gelenk bzw. medial (Cook et al., 2005).

## **5.4 Methoden**

### **5.4.1 Anästhesie**

Eine Anästhesie mit ihrer relaxierenden Wirkung kann einen deutlichen Einfluss auf die dynamischen Gelenkstabilisatoren haben, was bei der Interpretation der Daten mit beachtet werden muss (Cogar et al., 2008). So ist eine maximale Extension, wie bei der Lagerung durchgeführt, im wachen Zustand nicht in diesem Maße möglich und auch von der Schultergelenkspaltweite ist zu erwarten, dass sie sich aufgrund der Lagerung und Relaxation weiter darstellen. Da alle Hunde zur computertomographischen Untersuchung in Narkose gelegt werden müssen, ist dieser Punkt nicht zu ändern (Sonntag und Mihaljević, 2009).

### **5.4.2 Untersuchungsprotokolle**

Durch das Einhalten eines einheitlichen CT-Untersuchungsprotokolls können die Einflüsse durch unterschiedliche Untersucher auf ein Minimum reduziert werden. Die Größe und das Gewicht der in der Studie untersuchten Tiere variiert unbedeutend, so dass eine Veränderung der Software-Einstellungen nicht notwendig ist.

Die Dichte von Knochenabschnitten wird im Knochenfenster gemessen, da im Weichteilfenster durch eine ungenaue Konturierung des Knochens, durch eine Überstrahlung des Knochens die „Region of Interest“ (ROI) nur ungenau bestimmt werden kann.

Zu Abweichungen in der Dichtemessung mit Hilfe des CT kommt es z.B. automatisch aufgrund von Aufhärtungsartefakten und Partialvolumenartefakten. Vor allem durch

die dem Schulterblatt nahegelegene Wirbelsäule sind diese Artefakte denkbar, aber auch durch die kompakte Schultermuskulatur. In der Literatur werden Messwertabweichungen von  $\pm 20$  HU aufgrund von Aufhärungsartefakten beschrieben (Wegener, 1980).

Diese Artefakte lassen sich in dieser Studie nicht vermeiden, kommen allerdings durch die standardisierte Lagerung bei allen Patienten im gleichen Ausmaß vor. Wie stark die Strahlenaufhärtung stattfindet, hängt weiterhin vom Röhrenspektrum, Röntgenfiltern im Strahlengang, gerätespezifischer Korrektur und auch der Absorption innerhalb des Objekts ab. Zusätzlich können auch Bewegungsartefakte hinzukommen oder Fehler durch unterschiedliche Patientenpositionierung sowie subjektive Einflüsse bei der manuellen Datenanalyse und durch Rauschen (Engelke et al., 2002).

Zur Evaluierung der Schwankungen der Messwerte aufgrund der Artefakte wäre es sinnvoll eine Vergleichsdichtemessung an Kadavern durchzuführen. Es besteht die Möglichkeit die Dichte am Schultergelenk einer vom Körper abgesetzten Vordergliedmaße mittels CT zu erfassen und diese Werte im direkten Vergleich zu den gefunden Werten am lebenden Tier zu setzen.

Weitere Fehlerquellen für Abweichungen bei Dichtemessungen können durch eine nicht ordnungsgemäße durchgeführte Kalibrierung des Computertomographen vor der Verwendung als systemabhängige Artefakte auftreten. So sind Verschiebungen der CT-Werteskala und Inhomogenitäten im Bild möglich, wenn kein Neu-Abgleich des Systems nach dem Einschalten oder Aufwärmen auf Betriebstemperatur durchgeführt wird (Jury, 1999). Auch aufgrund eines Röhrenwechsels oder durch eine fortgeschrittene Alterung der Röntgenröhre können solche Fehlerquellen auftreten. Solche Mängel können durch eine tägliche Qualitätssicherung und ein „Tube conditioning“ (eine Kalibrierung und Aufwärmen) des Systems vor dem Scannen, wie auch in dieser Studie durchgeführt, vermieden werden (Jury, 1999).

### **5.4.3 Lagerung**

ASSHEUER und SAGER (1997) beschreiben für die CT-Untersuchung des Schultergelenks eine ventrale Positionierung der Patienten mit einer Streckung der Vordergliedmaßen und Fixierung dieser mit Hilfe einer Vakuum-Matratze.

Der Nachteil dieser Methode ist, dass die Gliedmaßen auf diese Weise nicht maximal gestreckt werden, obwohl eine Grundposition in Extension eingenommen wird. Auch liefert die Fixation mit einer Vakuum-Matratze eine eher instabile Lagerung im Gegensatz zu der in der vorliegenden Studie angewandte Fixation, die zu einer maximalen Extension führt.

Mit Hilfe der Lederschnallen, Positionshilfe und Binden wird versucht eine einheitliche reproduzierbare Lagerung zu erzielen. Eine geringgradige Abweichung in der Lagerung kann zum Beispiel durch den unterschiedlichen Bemuskelungszustand der Tiere zustande kommen. So lassen sich gut bemuskelte Tiere aufgrund der Gegenspannung durch die Muskeln weniger gut in eine maximale Extensionsstellung bringen. Der Schultergelenkwinkel hat sich als zusätzlicher Prüfwinkel für eine optimale Lagerung herausgestellt und er zeigt bei allen gemessenen Patienten eine Standardabweichung des Winkels von etwa 5°.

#### **5.4.4 Messungen**

Um einheitliche Messungen durchführen zu können, ist es wichtig eine immer gleiche Schnittebene zu treffen, da die Flächen z.B. weiter lateral oder medial größer oder kleiner werden. Daher müssen genaue Anhalts- und Messpunkte für die Messungen gefunden werden. Alle Messungen werden von einem Untersucher durchgeführt.

##### ***1.) Messung des Schultergelenkwinkels (Winkelsch):***

Der Schultergelenkwinkel erweist sich als strikt von der Lagerung abhängig. Wenn die maximale Extension der Vordergliedmaßen in der hier durchgeführten Lagerung eingehalten wird, ist der Winkel am größten. Je mehr die Vordergliedmaßen gebeugt werden, umso kleiner wird der Winkel. Somit kann der Winkel zur Überprüfung der exakten Lagerung herangezogen werden. Beachtet werden sollte hierbei allerdings, dass es sich bei dem Schultergelenkwinkel um keinen physiologisch korrekten Winkel handelt, der also nicht in physiologischen Bewegungsabläufen auftritt. Der Schultergelenkwinkel zeigt deutliche Unterschiede bei den drei untersuchten Rassen. So hat der Deutsche Schäferhund den kleinsten Winkel mit einem Mittelwert von 162,37°, gefolgt vom Golden Retriever mit einem Mittelwert von 167,79° und dem

Labrador Retriever mit einem Mittelwert von  $167,95^\circ$ . Auch in der Literatur finden sich bei der passiven Extension beim Deutschen Schäferhund geringgradig kleinere Winkel im Vergleich zum Labrador Retriever, wohingegen im Vergleich der Gesamtbeweglichkeit des Schultergelenks der Deutsche Schäferhund eine geringgradig größere Flexion zeigt. Eine Ursache für diese Unterschiede ist nicht bekannt, es wird allerdings ein Zusammenhang mit der unterschiedlichen Grundhaltung und dem unterschiedlichen Gangbild vermutet (Marcellin-Little et al., 2007).

Für den Schultergelenkwinkel lässt sich insgesamt ein Mittelwert für beide Schultern bei allen Patienten von  $165,66^\circ$  mit einer Standardabweichung von  $5,27^\circ$  messen. Diese Werte stimmen mit den in der Literatur, in Narkose mit Hilfe der Goniometrie gemessenen Extensionswinkeln beim Labrador Retriever überein, wo sich Abweichungen der Winkelmessung von  $1-6^\circ$  zeigen (Jaegger et al., 2002).

Eine Beeinflussung der Lagerung in maximaler Extension und somit des Schultergelenkwinkels ist durch die Bemuskulung und der Konstitution der Hunde denkbar. Daher ist zu vermuten, dass sich die Vordergliedmaßen bei guter Bemuskulung schlechter in maximale Extension bringen lassen als bei einem weniger gut bemuskelten Patienten. In der Literatur wird eine Limitation der Extension durch das Caput longum des M. triceps, den M. deltoideus und die Gelenkkapsel vermutet (Marcellin-Little et al., 2007).

Zu beachten ist auch, dass es bei Abweichungen von der maximalen Extension und somit des Schultergelenkwinkels möglicherweise zu Abweichungen in der Messung der Schultergelenkspaltweite kommt. Diese Problematik wird in der vorliegenden Studie allerdings nicht weiter überprüft. Von den eigenen Messwerten in Kombination mit den Schulterwinkeln ist zu erwarten gewesen, dass bei den kleineren Schultergelenkwinkeln (wie beim Deutschen Schäferhund) auch durch die geringere Extension des Gelenks die Gelenkspaltweiten enger werden. Dies hat sich nicht bestätigt. So zeigen die Deutschen Schäferhunde im Vergleich zu den anderen beiden Rassen den weitesten Gelenkspalt an allen drei gemessenen Lokalisationen. Auch wäre es sinnvoll, die Schultergelenkspaltweite in verschiedenen Positionen, wie Extension und Abduktion zu messen. COGAR et al. (2008) zeigt, dass der Abduktionswinkel bei Hunden mit erkrankten Schultergelenken (medialen Schulterinstabilität) deutlich größer ist als bei gesunden Tieren.

Denkbar wäre auch eine Abweichung des Extensionswinkels bei pathologischen Veränderungen des Schultergelenks wie bei Instabilitäten. Dies sollte in weiteren Studien im Vergleich mit pathologisch veränderten Schultergelenken überprüft werden.

## **2.) Messung des Pfannenwinkels (Pfwinkel):**

Die Computertomographie hat sich für die Messung der „Version des Glenoids“ und somit die Beurteilung der Fossa glenoidalis im Verhältnis zur Skapula, im Laufe der Zeit als die dem Röntgen überlegene Methode herausgestellt (Friedman et al., 1992). Die eindeutigen Vorteile der CT liegen in der Möglichkeit der genauen Messung aufgrund der vollständigen Darstellbarkeit der Skapula und der Gelenkoberfläche in verschiedenen Ebenen. Daher hat sich die CT-Untersuchung der Schulter als ideale Methode herausgestellt, um das Verhältnis der Fossa glenoidalis zur axialen Ebene der Skapula festzulegen (Friedman et al., 1992).

Der Pfannenwinkel zeigt in der vorliegenden Arbeit Abweichungen in seiner Ausprägung je nach Rasse. So hat der eher kompakte, kleinwüchsige Labrador Retriever (Rüde: 56-57 cm Schulterhöhe und 35-38 kg Körpergewicht; Hündin: 54-56 cm Schulterhöhe und 30-33 kg KGW) einen kleineren Pfannenwinkel (Mittelwert 21,26°) im Vergleich zum großgliedrigen Deutschen Schäferhund (Rüde: 60-65 cm Schulterhöhe, 30-40 kg KGW; Hündin: 55-60 cm Schulterhöhe, 22-32 kg KGW) mit einem größeren Pfannenwinkel (Mittelwert 23,77°). Hier ist eine Abhängigkeit von der Bemuskelung und der Konstitution denkbar. CT-Studien aus der Humanmedizin zeigen, dass die Position der Skapula einen sehr hohen Einfluss auf die Beurteilung der „Version des Glenoids“ hat (Randelli und Gabrioli, 1986; Bokor et al., 1999, Krämer, 2004). Die Variation der „Version des Glenoids“ ist abhängig von der Rotation der Skapula im Dorsalschnitt und kann um bis zu 10,5° variieren. Eine Begründung findet sich darin, dass die vertebrale Grenze der Skapula und der Körper der Skapula nicht flach sind, sondern eine gewisse Konvexität aufweisen, die auch zwischen verschiedenen Individuen variieren kann. Daher wird eine standardisierte und akkurat reproduzierbare Beurteilung der „Version des Glenoids“ benötigt, was auch diese Studie und die Bemühung um eine standardisierte

Lagerung beeinflusst (Randelli und Gabrioli, 1986; Bokor et al., 1999; Churchill et al., 2001).

Humanmedizinische Studien zeigen, dass die „Version des Glenoids“ auch aufgrund einer abnormalen Belastung durch einen pathologischen Prozess, wie eine Arthritis oder auch glenohumerale Instabilität, variieren kann (Bokor et al., 1999; Churchill et al., 2001).

Im Gegensatz zur Humanmedizin, wo eine statistische Signifikanz bezüglich des Geschlechts, die Weite und die Höhe betreffend, gefunden wird, kann in dieser Studie keine Signifikanz bezüglich des Geschlechts gefunden werden (Churchill et al., 2001; De Wilde et al., 2003). Der geschlechtsabhängige Unterschied in der „Version des Glenoids“ zeigt sich in der Humanmedizin anhand eines kleineren Winkels bei den weiblichen im Gegensatz zum männlichen Patienten (De Wilde et al., 2003).

Dieser Befund lässt sich in unserer Studie nicht nachvollziehen. Hier ist lediglich nachweisbar, dass die größeren Rassen auch einen größeren Winkel haben. Dieser Befund kann jedoch grob auch auf das Geschlecht bezogen werden, da die in der Regel eher kleinwüchsigen weiblichen Patienten im Vergleich zu den großwüchsigeren männlichen Patienten kleinere Winkel aufweisen. Die Retroversion ist bei pathologisch veränderten Glenoiden des Menschen größer als bei gesunden Gelenken (Couteau et al., 2000). Somit ist auch denkbar, dass der Pfannenwinkel bei Hunden mit pathologisch veränderten Schultergelenken größer wird als bei gesunden Gelenken. Es zeigen sich nur geringe Standardabweichungen von etwa 2,9-3,5°, wodurch sich der Winkel als gut reproduzierbar darstellt. Studien beim Menschen haben gezeigt, dass die „Version des Glenoids“ variabel ist und durchschnittlich Abweichungen von 5-7° der Retroversion aufweist sowie eine Anteversion von 10° (McCluskey und Getz, 2000). Die Wahrscheinlichkeit eine posteriore Instabilität zu entwickeln ist bei humanmedizinischen Patienten mit einer Dysplasie des Glenoids oder degenerativen posterioren Erosionen bei arthrotisch veränderten Schultergelenken höher, aufgrund der veränderten „Version des Glenoids“ (McCluskey und Getz, 2000).

Beim Menschen wird ferner angenommen, dass die „Version des Glenoids“ einen Einfluss auf die Kraftverteilung hat. In der Studie von TÉTRAULT und Mitarbeitern (2004) zeigt sich, dass zusätzlicher Stress auf die Muskulatur der

Rotatorenmanschette wirkt und die mehr belastete Muskulatur daher anfälliger für Erkrankungen ist.

Insgesamt könnte gegebenenfalls mit Hilfe des Pfannenwinkels eine Grundlage für eine Aussage über die Funktion und Stabilität des Glenohumeralgelenks beim Hund gemacht werden.

### **3.) Messung der Länge des Humeruskopfes (*Lhumkop*):**

Die Länge des Humeruskopfes erweist sich beim Hund als komplexe Messung, da reproduzierbare Fixpunkte festgelegt werden müssen. Es zeigen sich Standardabweichungen bei den Rassen von 4,4-6,3 mm, was im Gesamtverhältnis als gering erachtet werden kann. Bei den Messungen sind deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Rassen sichtbar. Der Labrador Retriever hat einen kürzeren Humeruskopf im Vergleich zum Golden Retriever und dem Deutschen Schäferhund. Somit ist die Schlussfolgerung logisch, dass die größte Rasse auch die größeren Knochenverhältnisse hat.

Weiterhin zeigen die durchschnittlich großwüchsigeren männlichen Tiere auch eine größere Länge des Humeruskopfes. Die Tiere mit höherem Körpergewicht zeigen ebenfalls eine größere Humeruskopflänge. Es kann festgestellt werden, dass pro Kilogramm Körpergewichtszunahme auch der Humeruskopf um 0,46 mm Länge zunimmt. IANNOTTI et al. (1992) führen zwar keine Längenmessung des Humeruskopfes wie in dieser Studie durch, können allerdings zeigen, dass der Radius der Kurvatur des Humeruskopfes bei männlichen Patienten größer ist als bei weiblichen. In der Literatur führen MCPHERSON und Mitarbeiter (1997) eine Vermessung des Humeruskopfes durch, um dessen Dimension mit dem Glenoid in Korrelation zu bringen und vor allem die Konformität zu erfassen.

In der eigenen Studie zeigt der Humeruskopf (Länge 58,33 mm) im Vergleich zur Cavitas glenoidalis (Länge 32,99 mm) eine 1,8-fach größere Ausprägung im Gegensatz zum menschlichen Schultergelenk, wo ein 3-4-mal größerer Humeruskopf im Vergleich zum Glenoid zu finden ist (Itoi et al., 1996; McCluskey und Getz, 2000). Ein Missverhältnis zwischen Humeruskopf und Glenoid kann auf eine Dysplasie eines der beiden Gelenkanteile hinweisen, was zu einer ungenügenden oder auch



abnormen Artikulation des Schultergelenks führen kann. Durch diese Veränderung kann eine Schultergelenksluxation hervorgerufen werden (Kunkel und Rochat, 2008).

#### **4.) Messung der Schultergelenkspaltweite (Gcran/med/caud):**

Es zeigen sich deutliche Abweichungen in den Spaltweiten des Schultergelenks abhängig von der Lokalisation. Diese Schultergelenksspaltweiten werden durch die Extension und somit den Schultergelenkwinkel und insofern auch durch den Untersucher beeinflusst.

Es kann festgehalten werden, dass die Schultergelenksspaltweite im kaudalen Bereich am schmalsten ist, da das Gelenk hier aufgrund der Streckung und der Gelenkkonformation am meisten komprimiert wird.

Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Rasse und der Ausprägung der Schultergelenkspaltweite. Dies kann wiederum auf die Größe des Gelenks jeweils in Abhängigkeit zur Tiergröße zurückgeführt werden. ZACHER et al. (2007) beschreibt die Verschmälerung des Gelenkspaltes als typisches Anzeichen für eine Arthrose. Hierbei kommt es durch eine Verringerung der Knorpelhöhe indirekt zu der Verschmälerung des Gelenkspaltes. In dieser Studie wird von einer quantitativen Beurteilung der Verschmälerung im Rahmen von z.B. Verlaufskontrollen abgesehen, da Fehlerquellen bei der Aufnahmetechnik und individuelle Interpretationsmöglichkeiten eine Standardisierung verhindern. Die Gelenkspaltweite gibt soweit man das unter diesen künstlichen Bedingungen beurteilen kann einen Hinweis auf die Kontaktverhältnisse. Der Labrador Retriever hat im kaudalen Bereich des Humeruskopfes die geringste Ausprägung, was einen Hinweis auf eine höhere mechanische Belastung durch den Kontakt beider Knochen aufeinander geben kann. So zeigt der Labrador Retriever am häufigsten eine Osteochondrose im Bereich des kaudalen Humeruskopfes (Morgan et al., 1999; LaFond et al., 2002).

**5.) Flächenmessung am Schultergelenk (5. Flächenmessung des Humeruskopfes (FIHumkop), 6. Flächenmessung der Humerusepiphyse (FIHmfug), 7. Flächenmessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (Fisubch), 10. Messung der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (FISkap)):**

Die Flächenmessung im Bereich des Humeruskopfes, der Humerusepiphyse, des subchondralen Knochens des Humeruskopfes und des gelenknahen Anteils der Skapula zeigen jeweils Unterschiede in der gemessenen Flächengröße in Abhängigkeit vom Geschlecht, Rasse und Körpergewicht.

So haben weibliche Tiere an den unterschiedlichen Lokalisationen jeweils eine kleinere Fläche im Vergleich zu den Rüden.

Bis auf die Flächenmessung im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes, zeigt der Deutsche Schäferhund jeweils eine größere Fläche (durchschnittlicher Mittelwert für alle vier Lokalisationen zusammengefasst: 611,51 mm<sup>2</sup>) gefolgt vom Golden Retriever (durchschnittlicher Mittelwert für alle vier Lokalisationen zusammengefasst: 484,41 mm<sup>2</sup>) und dem Labrador Retriever (durchschnittlicher Mittelwert für alle vier Lokalisationen zusammengefasst: 456,5 mm<sup>2</sup>). Bei der Flächenmessung im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes hat der Deutsche Schäferhund die größte Fläche, im Gegensatz zum Golden Retriever mit der kleinsten Fläche. Schwerere Tiere zeigen prinzipiell eine größere Fläche.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass größere Tiere an allen Lokalisation im Schultergelenk eine größere Fläche besitzen.

Die korrekte Messung der Flächen ist abhängig von der richtigen Schnittebenenfindung und Festlegung von anatomischen Anhaltspunkten zum Festlegen einer „Region of Interest“ (ROI). Ferner ist zu beachten, dass nicht das gesamte Gelenk volumenmäßig mit Hilfe der Flächenmessung erfasst wird, sondern lediglich die Fläche in einer Schnittebene (bei der mediansten Schnittebene durchs Gelenk).

Bei der Flächenmessung der Humerusepiphyse und der Flächenmessung des gelenknahen Anteils der Skapula zeigt sich jeweils eine Abhängigkeit der Flächengröße vom Patientenalter. Ältere Tiere haben eine größere

Humerusepiphysenfläche im Vergleich zu den jüngeren Tieren. Dies kann zum einen auf das Wachstum zurückgeführt werden, zum anderen werden die Fugengrenzen mit zunehmendem Alter undeutlicher, was teilweise eine genaue Messung und Abgrenzung der Humerus epiphysenfläche beeinflusst. Der Fugenschluss wird zwischen der 43.-56. Lebenswoche beendet und die in der Klinik vorgestellten Patienten sind somit in der Phase des einsetzenden Fugenschlusses (Coulson und Lewis, 2002). Die Fuge bei Deutschen Schäferhunden ist deutlicher nachvollziehbar als bei den anderen beiden Rassen, was in dem Zusammenhang gesehen werden kann, dass die Fugen bei den größeren Rassen aufgrund des längeren Knochenwachstums später schließen. So zeigt sich beim Hund, dass die zum Auswachsen benötigte Zeit, umso länger wird, je höher das endgültige Körpergewicht ist (Groß et al., 2002).

Weiterhin ist feststellbar, dass der Labrador Retriever im Durchschnitt das jüngste Alter bei Vorstellung und somit auch die kleinste Humerus epiphysenfläche aufweist. In der Humanmedizin finden sich keine vergleichbaren Flächenmessungen im Bereich des Humeruskopfes oder des gelenknahen Anteils der Skapula, hier werden die Dimensionen des Humeruskopfes anhand von Abstands-, Durchmesser und Radiusmessungen zwischen den einzelnen anatomischen Festpunkten durchgeführt (Iannotti et al., 1992; McPherson et al., 1997). Hintergrund dieser Flächenmessung ist es Normalwerte für die unterschiedlichen definierten Flächen zu finden. Somit könnte aufgrund einer Verkleinerung oder auch Vergrößerung der Flächen und auch einen Vergleich der unterschiedlichen Flächen untereinander Hinweise auf Pathologien des Schultergelenks gefunden werden. An erster Stelle stehen hier dysplastische Veränderungen, die in eine Veränderung der Flächengröße resultieren könnten, aber auch degenerative Veränderungen am Schultergelenk. Aufgrund einer Dysplasie eines oder auch beider Gelenkanteile kann es wiederum zu einer ungenügenden oder abnormen Artikulation kommen, was in eine Schultergelenksluxation resultieren kann (Kunkel und Rochat, 2008)

---

**6.) Dichtemessung am Schultergelenk (5. Dichtemessung des Humeruskopfes (D1m1/2), 6. Dichtemessung der Humerusepiphyse (D2m1/2), 7. Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (D3m1/2), 10. Messung der Dichte des gelenknahen Anteils der Skapula (D4m1/2)):**

Bei den in dieser Studie gemessenen Dichtewerten handelt es sich um keine absoluten Werte, sondern vielmehr um relative Dichteunterschiede (Müller-Gerbl et al., 1990 a). Die Dichte an den unterschiedlichen Lokalisationen zeigen deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Rassen.

Der Labrador Retriever hat an allen Lokalisationen die höchste Dichte (Mittelwert zusammengefasst für alle vier Lokalisationen: 682,66 HU), die niedrigste Dichte findet sich beim Deutschen Schäferhund (Mittelwert zusammengefasst für alle vier Lokalisationen: 558,76 HU) (außer bei der Dichtemessung des Humeruskopfes mit einem Mittelwert von 518,97 HU). Diese höhere Dichte an allen Lokalisationen beim Labrador Retriever im direkten Vergleich zum Deutschen Schäferhund kann im Zusammenhang mit dem Körpergewicht gesehen werden. So weisen die hier vorgestellten Deutschen Schäferhunde zwar ein durchschnittlich größeres Körpergewicht im Vergleich zu den anderen untersuchten Rassen auf, aber im Verhältnis zur größeren Körpergröße ist diese Hunderasse schlanker als der Labrador Retriever (Krämer, 2004).

Messungen in der Humanmedizin zeigen, dass die Knochendichte durch die lokal einwirkende Belastung verändert wird und sich dieser Belastung anpasst. MÜLLER-GERBL und Mitarbeiter (1990 a und 1993) zeigen, dass die Knochendichte mit Zunahme des Körpergewichts und auch bei steigender sportlicher Aktivität zunimmt. Um die Dichteverteilung im Gelenk der Hunde genauer evaluieren zu können, hätte die Nutzung des Hundes noch mit berücksichtigt werden müssen, wie z.B. Schutzhund, Jagdhund oder Zwingerhund. Diese Nutzung wirkt sich deutlich auf die körperliche Aktivität aus und sollte somit einen Einfluss auf die Knochendichteverteilung im Schultergelenk haben.

Weiterhin zeigen die Dichtemessungen an den unterschiedlichen Lokalisationen deutliche Unterschiede.

So findet sich als Bereich höchster Dichte die Dichtemessung des subchondralen Knochens (D3m1/2) (Mittelwert 734,58 HU), gefolgt von dem Bereich des

gelenknahen Anteils der Skapula (D4m1/2) (Mittelwert 662,23 HU). Daran schließt der Humeruskopf an (D1m1/2) (Mittelwert 544,11 HU) und schlussendlich die Humerusepiphyse (D2m1/2) (Mittelwert 505,44 HU).

Die Dichteverhältnisse zwischen der dichteren Cavitas glenoidalis und dem Humeruskopf bestätigten die bereits in der Literatur gefundenen Ergebnisse (Eller, 2003).

Zusätzlich zeigt sich bei der Messung der Dichte im Bereich der Humerusepiphyse eine Abhängigkeit vom Alter. Im Durchschnitt haben jünger Tiere eine größere Dichte der Humerusepiphyse, was auf eine ausgeprägtere körperliche Aktivität bei jüngeren Hunden hinweist. Dass die Dichte bei Zunahme der körperlichen Aktivität zunimmt und in der Jugend eine andere Dichteverteilung gefunden wird, wie bei erwachsenen Patienten, wird bereits bei Untersuchungen am Menschen festgestellt (Müller-Gerbl et al., 1990 a; Müller-Gerbl et al., 1993).

Jüngere Menschen haben zwei Dichtemaxima (ventral und dorsal), während ältere Patienten ein eher zentrales Dichtemaximum haben, was auf einen Verlust der Inkongruenz des Gelenks im Alter und somit eine Verlagerung der Kontaktzonen zurückgeführt werden kann. Hierdurch kommt es zu einem vollständigen Kontaktschluss und einer größeren Kontaktfläche mit kleinerer Druckspannung (Bullough et al., 1981; Müller-Gerbl et al., 1993) (Abbildung 95).

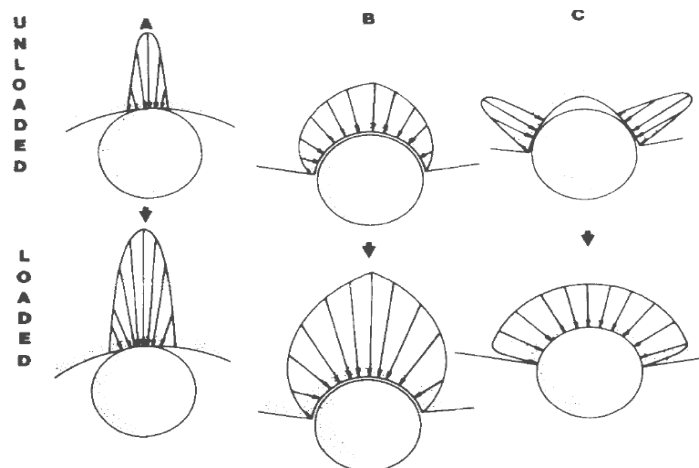


Abbildung 95: (nach Bullough et al., 1981): Modell für die Spannungsverteilung verschiedener Gelenke ohne Belastung und unter Belastung: A: instabiler Gelenktyp, bei dem die Gelenkpfanne größer ist als der Gegenpart im Gelenk und sich somit die Kraftbelastung über einen engen Bereich ausbreitet; B: kongruentes/stabiles Gelenk, unter ansteigender Belastung wird die Kontaktfläche schmaler; C: stabilstes Gelenk: im unbelasteten Zustand treffen die beiden Gelenkflächen nur in der Peripherie aufeinander, wohingegen sich im belasteten Zustand eine gleichmäßige Kontaktfläche über die gesamte Gelenkfläche erstreckt

Anhand von Studien kann gezeigt werden, dass die Cavitas glenoidalis bei einem physiologischen Schultergelenk die höchste Knochendichte immer im zentralen Bereich aufweist, wohingegen bei Pathologien der Schulter wie z.B. bei der Schulterluxation die Dichtemaxima eher im Randbereich zu finden sind (Itoi et al., 1996; Yeh et al., 1998).

Insgesamt kann das Verteilungsmuster der subchondralen Mineralisierung als Ausdruck der individuellen mechanischen Situation/Belastung gesehen werden (Müller-Gerbl et al., 1993).

Es wäre also sinnvoll Vergleichsdichtemessungen an erkrankten Schultergliedmaßen durchzuführen sowie im Rahmen von Verlaufskontrollen zu untersuchen.

Die radiologische Dichte des subchondralen Knochens kann als Parameter für die Langzeitstressbelastung eines Gelenks gesehen werden. Knochen als lebendes Gewebe passt sich unter mechanischem Stress und anderen Faktoren sowohl anhand seiner Architektur, wie auch anhand der Verteilung der Mineralsalze auf diese Situation an. Bei einem Anstieg der Mineralsalzdichte wird der Stress sowohl durch intrinsische, wie auch durch extrinsische Kräfte bewirkt. Seit der Entwicklung

der CT-Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) und der Beurteilung der subchondralen Knochendichte, kann ein detaillierteres Bild über die Morphologie und Funktion des Gelenks erfasst werden. Die CT erweist sich als nur minimal invasiv und kann gut zur Erfassung morphologischer Änderungen verwendet werden (Meirer et al., 2004).

***7.) Messung des Flächenumfangs am Schultergelenk (5. Umfangmessung der Fläche des Humeruskopfes (D1P1/2), 6. Umfangmessung der Fläche der Humerusepiphyse (D2P1/2), 7. Umfangmessung der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (D3P1/2), 10. Umfangmessung der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (D4P1/2)):***

Es ist eine Abhängigkeit des jeweiligen Flächenumfangs an den unterschiedlichen Lokalisationen bezüglich des Geschlechts, der Rasse und dem Körpergewicht nachweisbar. An allen Lokalisation weisen weibliche Tiere einen kleineren Flächenumfang auf im Vergleich zu den Rüden. Die Umfangsvermessung zeigt beim Labrador Retriever an allen Lokalisationen ihre kleinste Ausprägung (zusammengefasster Mittelwert für alle vier Lokalisationen: 106,79 mm) bis auf die Messung des Flächenumfangs des subchondralen Knochens (wie der Golden Retriever die kleinste Umfangsmessung). Der Deutsche Schäferhund hat an allen Lokalisationen den größten Umfang (zusammengefasster Mittelwert für alle vier Lokalisationen: 122,53 mm).

Leichtere Tiere zeigen einen kleineren Flächenumfang im Gegensatz zu den schwereren Tieren. Auch hier können die unterschiedlichen Ausprägungen des Flächenumfangs auf die größere Ausprägung bei größeren Tieren zurückgeführt werden. Wie bei den vorangegangenen Messungen stellt sich auch bei dieser Messung eine gewisse Abhängigkeit von der korrekten Schnittfindung dar und es muss beachtet werden, dass der Umfang lediglich in einer Schnittebene angefertigt wird.

Ein signifikanter Unterschied im gemessenen Umfang der Fläche abhängig von der Lokalisation wird sichtbar. So ist der Flächenumfang gemessen im Bereich des Humeruskopfes am kleinsten (Mittelwert 100,34 mm), gefolgt vom Flächenumfang des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (Mittelwert 102,77 mm). Den

größten Umfang erreichen die Fläche der proximalen Skapula (Mittelwert 125,41 mm) sowie der Umfang der Fläche der Humeruskopffuge (Mittelwert 125,69 mm).

Abhängigkeiten der Ausprägung des jeweiligen Umfangs an der jeweiligen Lokalisation von der Rasse und dem Geschlecht sind nachweisbar. So zeigt sich der Umfang am deutlichsten beim Deutschen Schäferhund gefolgt vom Golden Retriever und dem Labrador Retriever mit jeweils der stärksten Ausprägung beim Rüden.

In der Humanmedizin finden sich keine vergleichbaren Flächenumfangsmessungen im Bereich des Humeruskopfes oder des gelenknahen Anteils der Skapula, es werden lediglich die Dimensionen des Humeruskopfes anhand von Abstands-, Durchmesser und Radiusmessungen erfasst (Iannotti et al., 1992; McPherson et al., 1997).

Hintergrund dieser Messung ist es Normalwerte für den unterschiedlich definierten Flächenumfang an den verschiedenen Lokalisationen zu finden. Wie auch bei der Flächenmessung, können auch hier Verkleinerung oder Vergrößerung des Umfangs auf Pathologien des Schultergelenks hinweisen. An erster Stelle stehen auch hier dysplastische Veränderungen, die in eine Veränderung des Flächenumfangs resultieren könnten, aber auch degenerative Veränderungen am Schultergelenk. Eine Dysplasie der Gelenkanteile kann zu einer ungenügenden oder abnormen Artikulation führen, was in einer Schultergelenksluxation enden kann (Kunkel und Rochat, 2008)

#### **8.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf (Hukcran/med/caud):**

Die Wahl der farblich hervorgehobenen Dichtemaxima wird subjektiv festgelegt und in dem Bereich gewählt, der den deutlichsten farblichen Kontrast aufweist. Zu beachten ist, dass nicht die gesamte Gelenkfläche untersucht wird, sondern erneut nur der zentrale Bereich des Gelenks, der mit dem standardisierten Schnitt erfasst wird.

Es sind Rasseunterschiede bezüglich der Dicke der subchondralen Dichtemaxima im Bereich des Humeruskopfes sichtbar (Deutsche Schäferhund > Labrador Retriever > Golden Retriever).



Dieses Verhältnis, dass größere Hunde im Vergleich zu kleineren Hunden dickere subchondrale Dichtemaxima haben, wird in der Literatur angenommen (Simkin et al., 1991). Ebenfalls wird vermutet, dass unter einer Standardbelastung eine deutlichere Deformation des dicken als des dünnen Knorpels innerhalb desselben Zeitintervalls stattfindet. Während das Ellbogengelenk zum Beispiel von dünnem Gelenkknorpel ausgekleidet wird, findet sich im Schultergelenk insgesamt dickerer Gelenkknorpel (Simon et al., 1973).

Es zeigen sich deutliche Unterschiede der Dicke der subchondralen Dichtemaxima abhängig von der Lokalisation im Gelenk. So befindet sich im kaudalen Bereich die dickste (Mittelwert 3,61 mm) und im kranialen Bereich die dünnste Dichteausrprägung (Mittelwert 2,13 mm).

Dies spiegelt die mechanische Belastung wider und somit die Prädilektionsstelle für die Osteochondrose (Kunkel und Rochat, 2008).

In einer Studie aus der Humanmedizin zeigt sich, dass das Knorpelgewebe im zentralen Gelenksbereich dünn und in der Peripherie dicker wird (Xia et al., 2002). Diese Dickenverteilung kann in der vorliegenden Studie nicht nachvollzogen werden. Was allerdings auch einen Hinweis auf die unterschiedliche Funktion des menschlichen Schultergelenks im Vergleich zum Schultergelenk des Hundes gibt (Xia et al., 2002).

Sowohl die subchondrale Knochendichte, wie auch die Dicke des Gelenkknorpels passen funktionell ihre Dickenverhältnisse im Laufe der Zeit der Belastung an (Eckstein et al., 1992).

Daraus lässt sich schließen, dass im kaudalen Bereich mit der dicksten Dichteausrprägung auch die stärkste Krafteinwirkung auf den Humeruskopf besteht. Daher kann man diesen Bereich auch als Prädilektionsstelle für osteochondrotische Defekte sehen (Kunkel und Rochat, 2008). Weiterhin sind deutliche Unterschiede der Dicke der subchondralen Dichtemaxima zwischen den verschiedenen Rassen an den unterschiedlichen Gelenkabschnitten erkennbar. Im kaudalen Bereich zeigt der Deutsche Schäferhund (Mittelwert 4,08 mm) die dickste der Golden Retriever (Mittelwert 3,15 mm) die dünnste Ausprägung.

Im medialen Bereich hat dagegen der Labrador Retriever (Mittelwert 2,77 mm) die dickste und der Golden Retriever (2,55 mm) die dünnste Ausprägung. Im kranialen Bereich wiederum hat der Golden Retriever (2,24 mm) das Dickenmaximum. Die

Messwertunterschiede lassen eine unterschiedliche Belastung des Schultergelenks bei den drei verschiedenen Rassen vermuten.

Diese Messungen lassen sich nicht in Einklang mit der Literatur bringen. So müsste laut LaFond et al. (2002) der Labrador Retriever gefolgt vom Golden Retriever und an letzter Stelle der Deutsche Schäferhund die dickste Ausprägung der subchondralen Dichtemaxima am Humeruskopf haben. Die Autoren geben den Labrador Retriever als den am häufigsten an Osteochondrose an der Schulter erkrankten Hund vor den anderen beiden Rassen an.

Allerdings ist zu beachten, dass das subchondrale Dichtemaximum lediglich in einer Schnittebene gemessen wird, was die Limitation dieser Messung zeigt. So wäre es sinnvoll die Messung an weiteren definierten Schnittebenen weiter lateral im Gelenk durchzuführen sowie auch bei pathologisch veränderten Schultergelenken.

#### **9.) Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis (Cavcran/med/caud):**

Geschlechtsabhängige Veränderungen der Dickenmessung der Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis sind nachweisbar.

Die größeren Rüden haben an allen drei Messpunkten eine größere Dicke der subchondralen Dichtemaxima als die kleineren Hündinnen (Simkin et al., 1991).

Neben der Annahme, dass die Knorpeldicke mit der Körpergröße der Tiere korreliert, ist in der veterinärmedizinischen Literatur ebenfalls bekannt, dass unter einer Standardbelastung eine deutlichere Deformation des dicken als des dünnen Knorpels innerhalb desselben Zeitintervalls stattfindet. Während das Ellbogengelenk zum Beispiel von dünnem Gelenkknorpel ausgekleidet wird, findet sich im Schultergelenk insgesamt dickerer Gelenkknorpel (Simon et al., 1973).

Die Dicke der subchondralen Dichtemaxima erreicht ihre dickste Ausprägung im kranialen Bereich und die dünnste Ausprägung im medialen Bereich. Studien aus der Humanmedizin zeigen ebenfalls, dass der Knorpel der glenoidalen Gelenkfläche in der Peripherie die dickste Ausprägung hat (Itoi et al., 1996; Yeh et al., 1998). Eine weitere Studie zeigt, dass während der Gelenkknorpel im zentralen Bereich der Cavitas glenoidalis dünn ist und in der Peripherie dicker wird, sich der Gelenkknorpel am Humeruskopf genau gegensätzlich zu der Knorpelverteilung an der Cavitas

glenoidalis verhält, da hier zentral der dickste Knorpel vorliegt (McCluskey und Getz, 2000). Dieser Befund lässt sich in der vorliegenden Studie nicht einheitlich wiedergeben. Dies erklärt sich einerseits aufgrund der unterschiedlichen Rassen sowie der zum Menschen unterschiedlichen Belastungssituation. Es lässt sich lediglich eine Tendenz der Gegensätzlichkeit der beiden Gelenkflächen sehen, wobei die Cavitas glenoidalis tendenziell insgesamt eine geringgradig dickere Knorpelausprägung aufweist. Im Bereich des Humeruskopfes ist die dickste Knorpeldicke im kaudalen Bereich des Gelenkes messbar. Sowohl die subchondrale Knochendichte, wie auch die Dicke des Gelenkknorpels passen funktionell ihre Dickenverhältnisse im Laufe der Zeit der Belastung an (Eckstein et al., 1992). Somit zeigt sich im konkaven Anteil des Schultergelenks im Gegensatz zum konvexen Humeruskopf das dickste subchondrale Dichtemaximum, was sich durch die gegensätzliche Krafteinwirkung erklärt, die aufgrund der Zugspannung entsteht (Simkin et al., 1980).

Der Labrador Retriever hat die deutlichste Dicke der subchondralen Dichtemaxima an der Cavitas glenoidalis, gefolgt vom Golden Retriever und dem Deutschen Schäferhund.

Weiterhin sind deutliche Unterschiede der Dicke der subchondralen Dichtemaxima zwischen den verschiedenen Rassen an den unterschiedlichen Gelenkabschnitten feststellbar (Mittelwert kaudal: Golden Retriever: 2,79 mm < Deutscher Schäferhund: 2,96 mm < Labrador Retriever: 3,25 mm; medial: Golden Retriever: 2,66 mm < Deutscher Schäferhund: 2,72 mm < Labrador Retriever: 2,81 mm; kranial: Deutscher Schäferhund: 2,74 mm < Golden Retriever: 3,18 mm < Labrador Retriever: 4,03 mm). Es zeigen sich im Vergleich zur Dickenausprägung der subchondralen Dichte zwischen Humeruskopf und Cavitas glenoidalis ähnliche Verhältnisse, was die mechanische Belastungssituation am Gelenk bestärkt. Im Gegensatz zur menschlichen Schulter, die keine tragende Funktion hat, zeigt sich somit, dass die Hauptbelastung im kaudalen Bereich des Humeruskopfes liegt. Es zeigt sich eine widersprüchliche Ausdünnung des Knorpels mit fortschreitendem Alter, zudem bei älteren Gelenke eine Abflachung. Die Veränderungen in der Geometrie der Gelenke mit dem Alter kommen aufgrund einer größeren Kongruenz der Gelenkflächen zustande. Degenerative Veränderungen des Knorpels aufgrund des Alters, treten eher im weniger belasteten als im belasteten Teil des Gelenks auf. Im Alter kommt es

zu einer Gewichtsumverteilung im Gelenk aufgrund einer veränderten Belastung und infolge dessen kommt es zu einer Veränderung der Kongruenz. Bei einer schlechten Anpassung an diese veränderten Verhältnisse im Gelenk kann es zur Entstehung einer Osteoarthrose kommen (Bullough et al., 1981).

Errechnet man den Mittelwert für die Dickenmessung der subchondralen Dichtemaxima im Bereich des Humeruskopfes an allen drei Messpunkten und vergleicht diesem mit dem Mittelwert für die Dickenmessung der subchondralen Dichtemaxima im Bereich der Cavitas glenoidalis, so zeigt sich, dass der Mittelwert für den Humeruskopf bei 2,8 mm, wohingegen der Mittelwert für die Cavitas glenoidalis bei 3,02 mm liegt. Dies deutet daraufhin, dass der subchondrale Knochen im Bereich der Cavitas glenoidalis dicker ist als im Bereich des Humeruskopfes. Dieser morphologische Unterschied kann im Zusammenhang mit der unterschiedlichen Belastung der unterschiedlich gewölbten Gelenkanteile gesehen werden. Während konvexe Gelenkoberflächen wie der Humeruskopf eine reine Kompression erfahren, sind konkave Gelenkoberflächen wie die Cavitas glenoidalis eher einem gewissen Maß an Zugspannung ausgesetzt. Diese Zusammenhänge werden durch Studien an Hunden belegt (Simkin et al., 1980; Simkin et al., 1991). Es wird angenommen, dass die dicke Schicht unter einer konkaven Gelenkoberfläche eine gewisse Steifheit und Widerstandsfähigkeit bewirkt, während die dünnere Schicht im konvexen Bereich diesen relativ flexibler macht (Simkin et al., 1980; Simkin et al., 1991). Diese Vermutung wird von einer Studie bestärkt, in der Belastungstests an kaninen Schultergelenken durchgeführt werden (Simkin et al., 1985). Daher bewirkt eine Belastung des Gelenks eher eine Deformation des konvexen Humeruskopfes als der konkaven Cavitas glenoidalis wie zum Beispiel bei der Osteochondrose (Simkin et al., 1980; Simkin et al., 1991).

Hinweis für eine länger andauernde Überbelastungs- und Anpassungsreaktion des Knochens an die mangelnde Stoßdämpferfunktion des Knorpels zeigt sich im Röntgen als subchondrale Sklerosierung (Zacher et al., 2007).

Die Vermessung des Gelenkknorpels wird beim Menschen auch mittels Magnetresonanz-Arthrographie durchgeführt. Hierbei zeigt sich, dass der Knorpel im Bereich der Fossa glenoidalis deutlich dicker ist im Vergleich zum Knorpel im Bereich des Humeruskopfes (Yeh et al., 1998). Diese Tatsache lässt sich in der vorliegenden Studie nicht nachvollziehen. So zeigt sich mit einem Mittelwert für die Knorpeldicke

von 3,61 mm am Humeruskopf eine im Durchschnitt geringgradig dickere Knorpeldicke im Vergleich zur Cavitas glenoidalis (3,02 mm). Dieses Verhältnis legt erneut dar, wie unterschiedlich die Belastung des menschlichen Schultergelenks im Vergleich zum quadrupeden Hund ist. Die Befunde aus der Humanmedizin an der Schulter und biomechanischen Verhältnisse sind also nicht prinzipiell auf den Hund übertragbar.

Eine langfristige Belastung eines Gelenkes spiegelt sich in dem Verteilungsmuster der subchondralen Mineralisation wieder und kann somit Rückschlüsse auf die Beanspruchung geben (Linsenmaier et al., 2003).

In der Humanmedizin werden Knorpeldicken- und Knorpelvolumenmessungen mit Hilfe der MRT durchgeführt. Hierbei erweist sich das MRT weniger gut dafür geeignet frühe pathologische Veränderungen darzustellen. Als problematisch stellt sich dar, dass die Knorpeldicke nicht nur an den verschiedenen Gelenken unterschiedliche Ausprägung erfährt, sondern auch an einem Gelenk interindividuell sehr starken Schwankungen unterworfen ist. Als weiteres Problem ist die schlechte Reproduzierbarkeit der Schnittebenen zu nennen. Weiterhin kann es zu einer Verfälschungen der Knorpeldicke kommen, wenn es in einem frühen Chondromalaziestadium zu einer Ödematisierung und somit Volumen- und Dickenzunahme des Knorpels kommt (Zacher et al., 2007).

#### ***11.) Messung des kraniokaudalen Abstandes (AbstCav) und der Tiefe der Cavitas glenoidalis (TiefCav):***

##### ***Kraniokaudaler Abstand (AbstCav):***

Abhängig vom Geschlecht haben weibliche Tiere einen geringeren kraniokaudalen Abstand der Cavitas glenoidalis (Hündinnen: 28,34 mm; Rüden: 30,80 mm). Dies kann auf die Größenverhältnisse zurückgeführt werden.

Der Deutsche Schäferhund hat den größten (31,73 mm) und der Golden Retriever den kürzesten Abstand (27,93 mm). Auch zeigt sich dass schwerere Tiere einen größeren Abstand haben als leichtere Tiere. Somit zeigt sich, dass größere, schwerere Tiere auch einen größeren kraniokaudalen Abstand aufweisen.

In der Humanmedizin wird diese Messung vor allem zur präoperativen Planung im Bereich der Endoprothetik verwendet (Strewe, 2009).

Die Tiefe und der kraniokaudale Abstand der Cavitas glenoidalis machen zusammen die Konkavität der Gelenkpfanne aus. Ein Verlust der Konkavität neben der Kompression, kann zu einer Instabilität des Schultergelenks führen und es können hierdurch Luxationen verursacht werden und infolge dessen degenerativer Veränderungen auftreten (Bardet et al., 1998; Kunkel et al., 2008). Betrachtet man den kraniokaudalen Abstand so ist ein Verlust der Konkavität bezüglich des kraniokaudalen Abstandes denkbar durch eine kongenitale Deformation im Sinne von einer dysplastisch ausgebildeten Gelenkpfanne.

### ***Tiefe der Cavitas glenoidalis (TiefCav):***

Männliche Tiere (7,34 mm) besitzen eine größere Tiefe der Cavitas glenoidalis im Gegensatz zu Hündinnen (6,68 mm).

Die größere Rasse (Deutscher Schäferhund) hat eine größere Tiefe der Cavitas glenoidalis im Vergleich zu den anderen Rassen. Schwerere Tiere haben eine tiefere Cavitas glenoidalis.

Die Tiefe der Cavitas glenoidalis in Zusammenhang mit dem kraniokaudalen Abstand kann als Ausmaß der Konkavität gesehen werden. Mit zunehmender Tiefe nimmt auch die Konkavität des Gelenks zu.

SIMKIN et al. (1980) stellen fest, dass die Kraftverteilung im Schultergelenk ähnlich der von architektonischen Bögen ist. Ein Bogen kann hierbei die auf ihn ausgeübte Kraft ableiten, indem sie lateral um den Bogen herum geleitet wird. Hierbei leistet nicht das Design des Bogens den Widerstand sondern vielmehr die Spannung innerhalb der Wand. Daher stellt sich die Spannung des Gelenkknorpels und des subchondralen Knochens innerhalb des konkaven Gelenks als wichtiger Widerstand gegenüber einer Belastung und möglichen Schäden durch diese Belastung dar. Bei der Kraft, die auf die konvexe Gelenkfläche trifft, handelt es sich um eine Kompression, im Gegensatz zum konkaven Gelenksanteil, der einer gewissen Tension ausgesetzt ist. Diese unterschiedlichen Kräfte verdeutlichen auch, weshalb an bestimmten Gelenkslokalisationen bestimmte Erkrankungen auftreten, wie zum Beispiel die Osteochondrose am kaudalen Humeruskopf (Simkin et al., 1980).

Der Gelenkknorpel benötigt einen konstanten und immer wiederkehrenden Kontakt mit dem gegenüberliegenden Knorpel, um vital zu bleiben. Das erklärt sich daher, dass eine gewisse Inkongruenz im Gelenk die Zirkulation und Verteilung der Synovia innerhalb des Gelenks ermöglicht. Der Gelenkknorpel kann nur mit einer optimalen Feuchthaltung seiner Oberfläche vital bleiben. Diese Befeuchtung der Oberfläche dient zum einen der Ernährung des Gelenkknorpels, wie auch der Gelenkschmierung und wird durch die Gelenkgeometrie ermöglicht und aufrecht erhalten. Mit zunehmendem Alter runden die Gelenke immer weiter ab (Bullough et al., 1973).

Die konkave Fläche des Schultergelenks wird nur sekundär durch die gegenüberliegende Gelenkfläche befeuchtet. Je größer der konkave Anteil des Gelenks ist, umso größer ist die Weite an Bewegung, die benötigt wird, um Flüssigkeit von der Peripherie zentral ins Gelenk zu transportieren. Somit zeigt sich, dass bestimmte Pathologien am Schultergelenk nicht nur aufgrund von pathologischer Veränderungen des Gelenkknorpels zustande kommen, sondern die Ursache auch in Abweichungen von der Gelenkform zu beachten sind (Bullough et al., 1973).

Betrachtet man somit die Tiefe der Cavitas glenoidalis in Zusammenhang mit dem kraniokaudalen Abstand als Ausmaß der Konkavität, so nimmt auch die Konkavität des Gelenks mit abnehmender Tiefe ab. Durch die abnehmende Konkavität wird wiederum die Stabilität des Schultergelenks beeinflusst (Bardet et al., 1998; Kunkel et al., 2008). Je tiefer die Cavitas glenoidalis ist, umso stabiler sitzt der konvexe Humeruskopf in der Gelenkpfanne. Infolge einer Abflachung durch Verschleiß kann es zu einem Verlust der Tiefe der Cavitas glenoidalis kommen. Weitere Ursachen für einen Verlust der Tiefe der Cavitas glenoidalis können ein Trauma oder kongenitale Veränderungen infolge von dysplastischen Veränderungen sein.

### **12.) Messung der Länge der Cavitas glenoidalis (LaengCv):**

Weibliche Tiere haben eine kürzere Länge der Cavitas glenoidalis (31,7 mm) im Vergleich zu den Rüden (34,43 mm). Beim Deutschen Schäferhund ist die Cavitas glenoidalis im Vergleich zu den anderen Rassen am längsten. Das Körpergewicht beeinflusst die Länge der Cavitas glenoidalis linear. Der Humeruskopf hat in dieser Studie im Mittel eine Länge von 58,33 mm, während die Cavitas glenoidalis im Mittel

eine Länge von 32,99 mm aufweist. Somit ist die Länge des Humeruskopfes 1,8-fach länger als die der Cavitas glenoidalis. Auch in der Humanmedizin wird beschrieben, dass das Glenoid einen kleineren Radius und eine kürzere Länge im Vergleich zum Humeruskopf hat (Itoi et al., 1996; McCluskey und Getz, 2000). Allerdings zeigt sich der menschliche Humeruskopf um 3-4-mal größer als das Glenoid und der Humeruskopf ist in verschiedenen Schulterstellungen nur mit 30% in Kontakt mit dem Glenoid (Itoi et al., 1996; McCluskey und Getz, 2000). KARABORK et al. (2009) vergleichen das Verhältnis der Länge des Humeruskopfes mit der Länge der Cavitas glenoidalis bei Herbivoren und Karnivoren, und können feststellen, dass der Humeruskopf beim Herbivoren doppelt so lang ist, wie die Cavitas glenoidalis. Beim Karnivoren ist dieses Verhältnis jedoch geringer und die kleinste Ausprägung wird bei der Katze erreicht. Die Autoren erklären diese Befunde mit der für die Jagd unabdingbaren athletischen Anatomie der Karnivoren. Sie stellen heraus, dass das Schultergelenk von Tieren aufgrund ihrer Anatomie und Ernährung beurteilt werden sollte.

In Zusammenhang mit der Messung des Humeruskopfes kann das Verhältnis der beiden aufeinander treffenden Gelenkflächen verifiziert werden. Eine zu kleine Cavitas glenoidalis führt zu Verlusten der Passgenauigkeit des Gelenkes und es kann infolge zu Instabilität im Gelenk kommen, was dazu führt, dass der Humeruskopf aus der viel zu kleinen Gelenkpfanne herausspringt.

### **13.) Messung der Tiefe (TiefSul) und des Abstandes des Suclus intertubercularis (AbstSul):**

#### **Tiefe (TiefSul):**

Die Tiefe des Sulcus intertubercularis stellt sich bei weiblichen Tieren (6,97 mm) geringer dar als bei männlichen Tieren (7,89 mm), was auf die Größenverhältnisse zurückgeführt werden kann. Beim Deutschen Schäferhund ist der Sulcus intertubercularis am tiefsten (7,91 mm) im Vergleich zum Labrador Retriever (7,08 mm). Dieses Verhältnis lässt sich auch anhand einer Korrelation zwischen dem Körpergewicht und der Tiefe des Sulcus intertubercularis nachvollziehen, so haben die schwereren Deutschen Schäferhund auch hier die deutlichere Tiefe des Sulcus



intertubercularis im Vergleich zu den anderen beiden Rassen. In der Humanmedizin wird eine Relevanz der Tiefe des Sulcus intertubercularis im Bezug auf eine Entwicklung der Tendinitis der Bizepssehne angenommen. Die Tendinitis entsteht aufgrund einer subakromialen Einklemmung (Halder, 2010). Um dies in der Veterinärmedizin genauer verifizieren zu können, muss die Tiefe des Sulcus intertubercularis bei erkrankten Tieren gemessen werden. Wobei festzuhalten ist, dass die Luxation und Ruptur der Bicepssehne vor allem bei Hunden größerer Rassen aber trotzdem selten vorkommt (Kramer und Schimke, 2007).

#### ***Abstand des Suclus intertubercularis (AbstSul):***

Die leichteren weiblichen Tiere zeigen einen geringeren Abstand des Sulcus intertubercularis (15,12 mm) im Vergleich zu den schwereren männlichen Tieren (16,45 mm).

Insgesamt ist eine durchschnittliche Zunahme des Abstandes des Sulcus intertubercularis um 0,10 mm pro Kilogramm Körpermassenzunahme zu sehen.

Wobei auch hier erneut das Ganze in dem Zusammenhang gesehen werden sollte, dass die Luxation und Ruptur der Bicepssehne vor allem bei Hunden größerer Rassen vorkommt (Kramer und Schimke, 2007).

#### **Unterscheidung rechte und linke Schulter:**

Es zeigt sich bei den Messungen ein geringer Unterschied zwischen rechter und linker Schulter, was allerdings aufgrund der geringen Abweichungen vernachlässigt werden kann. Mittels Ganganalysen beim Labrador Retriever wird bereits in der Literatur festgestellt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen rechter und linker Gliedmaße bestehen (Gillette und Zebas, 1999; Agostinho et al., 2011).

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Erarbeitung von computertomographischen Normalbefunden am Schultergelenk bei mittelgroßen, gesunden Hunden mit besonderer Berücksichtigung der Rassen Golden Retriever, Labrador Retriever und Deutscher Schäferhund.

Hintergrund für diese Fragestellung ist die mangelnde Beschreibung adäquater Messmethoden, die das normale Schultergelenk bei Hunden erfassen. Normwerte sollen als Hilfe dienen, pathologische Veränderungen im Bereich der knöchernen Anteile des Schultergelenks einfacher und sicherer zu erkennen.

Mit Hilfe der Computertomographie wurden 302 Schultergelenke von 155 Patienten unter einer standardisierten Lagerung (maximale Extensionsstellung) untersucht. Die Patientengruppe setzte sich aus 37 Golden Retrievern, 55 Labrador Retrievern und 63 Deutschen Schäferhunden zusammen, die mit einem durchschnittlichen Körpergewicht von 29,36 kg und einem durchschnittlichen Alter von 15,66 Monaten in der Kleintierchirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen vorgestellt wurden.

Im Anschluss an die computertomographische Untersuchung wurden Winkel-, Flächen-, Abstands-, Flächenumfangs-, Längen- und Dichtemessungen sowie Dickenmessungen subchondraler Dichtemaxima an standardisierten Schnitten des Schultergelenks durchgeführt.

Die Parameter Rasse, Alter, Geschlecht und Gewicht wurden in der statistischen Auswertung berücksichtigt.

Die Messung des Schultergelenkwinkels (Mittelwert 165,66°) hat sich als Prüfwinkel für eine standardisierte Lagerung in Extension bestätigt und zeigte rasseabhängige Variationen. Der Pfannenwinkel zeigte in der vorliegenden Studie mit einem Mittelwert von 22,32° eine Variation abhängig von der Rasse, so nahm er auch mit der Größe der Rasse zu.

Auch bei der Messung der Länge des Humeruskopfes (Mittelwert 58,33 mm) ließen sich rasseabhängige Variationen feststellen sowie zusätzlich Variationen abhängig von dem Geschlecht und dem Körpergewicht.

Bei der Messung der Schultergelenkspaltweite (Mittelwerte: kranial: 3,45 mm; medial: 3,61 mm; kaudal: 1,84 mm) konnte aufgrund einer Signifikanz bezüglich der

Lokalisation im Gelenk festgestellt werden, dass die Spaltweite im kaudalen Bereich am geringsten war. Hierdurch wurde die Vermutung gestellt, dass dieser Bereich durch einen engen Kontakt beider Gelenkflächen und somit eine hohe mechanische Belastung als Prädilektionsstelle für eine Osteochondrose gilt (van Bree und Gielen, 2006; Kunkel und Rochat, 2008). Zusätzlich zeigte sich eine Signifikanz bezüglich der Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse.

Die ausgewählten Flächenmessungen (Mittelwert Humeruskopf: 495,17 mm<sup>2</sup>, Humerusepiphyse: 613,32 mm<sup>2</sup>, subchondraler Knochen des Humeruskopfes: 132,27 mm<sup>2</sup>, Bereich gelenknaher Anteil der Skapula: 858,15 mm<sup>2</sup>) zeigten Variationen in Abhängigkeit vom Gewicht, der Rasse, dem Geschlecht, sowie bei der Fläche der Humerusepiphyse zusätzlich vom Alter.

Bezüglich der Dichtemessung (Mittelwert Humeruskopf: 544,11 HU; Humerusepiphyse: 505,44 HU; subchondraler Knochen des Humeruskopfes: 734,58 HU; Bereich gelenknaher Anteil der Skapula: 662,23 HU) zeigte sich zum einen, dass der Labrador Retriever an allen Lokalisationen die höchste und der Deutsche Schäferhund an allen Lokalisationen die niedrigste Knochendichte am Schultergelenk zeigte. Dies steht im Verhältnis des höheren Körpergewichts zur Körpergröße des Labrador Retrievers, dem sich die Dichte anpasst (Müller-Gerbl et al., 1990 a). Die Dichte des subchondralen Knochens des Humeruskopfes stellte sich am höchsten dar, im Gegensatz zum Bereich der Skapula, wo die Dichte am niedrigsten war.

Die Dichteverhältnisse im Bereich des subchondralen Knochens des Humeruskopfes und der Skapula bestätigten die bereits in der Literatur gefundenen Ergebnisse (Eller 2003). Allerdings zeigte sich auch eine Abhängigkeit der Dichtemessung im Bereich der Humerusepiphyse im Verhältnis zum Alter, so zeigten jüngere Tiere eine höhere Dichte, was auf eine höhere körperliche Aktivität schließen lassen kann.

Bezüglich der Messung des Umfangs der Flächen (Mittelwert Humeruskopf: 100,34 mm; Humerusepiphyse: 125,69 mm; subchondraler Knochen des Humeruskopfes: 102,77 mm; Bereich gelenknaher Anteil der Skapula: 125,41 mm), zeigten sich Variationen abhängig von Geschlecht, Rasse, Körpergewicht und Lokalisation sowie der Lokalisation in Korrelation mit Rasse und Geschlecht.

Für die Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens des Humeruskopf ergab sich im kaudalen Bereich ein Mittelwert von 3,61 mm, medial ein Mittelwert von 2,67 mm und kranial von 2,13 mm.

Der Deutsche Schäferhund hatte die größte Dicke des Dichtemaximas des subchondralen Knochens am Humeruskopf.

Im kaudalen Bereich zeigte sich insgesamt die größte Dichteaussprägung, was erneut ein Hinweis für eine Prädispositionsstelle für die Osteochondrose ist (Kunkel und Rochat, 2008). Im Vergleich zum Menschen zeigte sich eine unterschiedliche Verteilung der Dichtemaxima, was hervorhebt, dass das menschliche Schultergelenk einer anderen Belastung ausgesetzt ist, als das Schultergelenk des Hundes (Xia et al., 2002).

Die Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens an der Cavitas glenoidalis ergab kaudal einen Mittelwert von 3,02 mm, medial von 2,74 mm und kranial von 3,31 mm.

Der Labrador Retriever hatte im Vergleich zu den anderen Rassen an allen Lokalisationen die größte Dicke und der Deutsche Schäferhund bis auf den medialen Bereich die kleinste.

Der kraniokaudale Abstand ( Mittelwert 29,51 mm) wie auch die Tiefe der Cavitas glenoidalis (Mittelwert 6,99 mm) und die Länge der Cavitas glenoidalis (Mittelwert 32,99 mm) zeigten ebenfalls Variationen in Abhängigkeit vom Geschlecht, der Rasse und dem Körpergewicht und somit größenabhängige Variationen. So stellte sich der kraniokaudale Abstand bei den schwereren, männlichen Tieren der größeren Rassen weiter dar.

Insgesamt stellte sich die Länge des Humeruskopfes 1,8-fach länger dar als die der Cavitas glenoidalis.

Auch die Tiefe (Mittelwert 7,40 mm) und der Abstand des Sulcus intertubercularis (Mittelwert 15,75 mm) zeigten Variationen abhängig vom Geschlecht und dem Körpergewicht der Patienten. Es wurde kein deutlicher Unterschied zwischen rechtem und linkem Schultergelenk im Seitenvergleich festgestellt.

Die in dieser Arbeit erstellten Messwerte waren unter einer standardisierten Lagerung reproduzierbar und können als Grundlage zur Beurteilung und weiteren Untersuchung von Schultergelenkspathologien beim Hund dienen.

---

## 7 Summary

The objective of the present study was the investigation on normal computed tomography findings in shoulder joints of healthy medium-sized dog breeds (Golden retriever, Labrador retriever, German shepherd dog). Background for the examination was the lack of validated measurements for normal shoulder joints in dogs. The results of the present study can be used for an uncomplicated and reliable detection of pathological changes of the bony structures of the shoulder joint.

Three hundred and two shoulder joints of 155 dogs were examined with computed tomography and standardized positioning of the patient (positioning in maximal extension of the shoulder).

The cohort of patients consisted of 37 Golden retriever, 55 Labrador retriever and 63 German shepherd dogs, that were presented with a mean weight of 29.36 kg and a mean age of 15.66 month.

After the computed tomography examination the angles, areas, distances, perimeter of areas, extent and density and also the thickness of subchondral density-maxima were measured on standard slices of the shoulder joint. The parameters breed, age, sex and weight were included in the statistical evaluation.

The measurement of the angle of the shoulder joint (Schultergelenkwinkel) (mean 165.66°) has been proven to be a reliable measure for the standardized positioning in extension and showed breed dependent variations. The glenoid angle (Pfannenwinkel) (mean 22.32°) showed a significant correlation to the breed and therefore to the size of the animal with larger breeds showing larger angles.

In addition the length of the head of the humerus (Länge des Humeruskopfes) (mean 58.33 mm) was significantly influenced by the breed and also by the sex and body weight of the dog.

The measurement of the gap-width of the shoulder joint (Schultergelenkspaltweite) (mean cranial: 3.45 mm; medial: 3.61 mm; caudal: 1.84 mm) showed a significance for the localization in the joint and therefore that the gap-width was narrowest at the caudal aspect. This confirms this area being a predilection site for osteochondrosis due to the contact of both bones and hence a higher mechanical loading (Kunkel und

---

Rochat, 2008). Additionally there was a variation visible dependent on the localization in relationship with the breed.

The selected measurements of areas (mean head of the humerus: 495.17 mm<sup>2</sup>; epiphysis of the humerus: 613.32 mm<sup>2</sup>; subchondral bone of the head of the humerus: 132.27 mm<sup>2</sup>; area of the joint adjacent part of the scapula: 858.15 mm<sup>2</sup>) also were influenced by the body weight, breed. The area of the epiphysis of the humerus was also influenced by the age of the patient.

Concerning the density measurement at different locations of the shoulder joint (mean head of the humerus: 544.11 HU; epiphysis of the humerus: 505.44 HU; subchondral bone of the head of the humerus: 734.58 HU; area of the joint adjacent part of the scapula: 662.23 HU) the Labrador retriever showed the highest bone density at all localizations and the German shepherd dog showed the lowest manifestation at all localizations.

This can be seen as an adaption of the density in the Labrador retriever because of the higher body weight in relation to the body size (Müller-Gerbl et al., 1990 a).

The density of the subchondral bone of the head of the humerus showed higher values in comparison to the measurement of density in the area of the scapula. The density conditions in the area of the subchondral bone of the head of the humerus and of the scapula were consistent with previously reported data (Eller 2003). However there was also a dependency of the density measurement in the area of the epiphysis of the humerus in relation to the age visible. Inferring to a higher physical activity, younger animals showed a higher density.

Regarding to the measurement of the perimeter of the areas (mean head of the humerus: 100.34 mm; epiphysis of the humerus: 125.69 mm; subchondral bone of the head of the humerus: 102.765 mm; area of the joint adjacent part of the scapula: 125.41 mm) variations in relation to breed, sex, body weight and localization and also to the localization in correlation to breed and sex have been observed.

A mean value of 3.61 mm for the measurement of thickness of density-maxima of the subchondral bone of the humerus was recorded at the caudal aspect of the head of the humerus, a mean value of 2.67 mm at the medial aspect and of 2.13 mm at the cranial aspect. The German shepherd dogs had the most extensive thickness of density-maxima of the subchondral bone of the head of the humerus.

---

The most extensive density manifestation was visible at the caudal aspect of the humerus, what again hints for the predilection area for osteochondrosis (Kunkel und Rochat, 2008). In comparison to human medicine there was a different distribution of density-maxima. This shows that the human shoulder joint has to bear another loading than the canine shoulder joint (Xia et al., 2002). The measurement of density-maxima of the subchondral bone of the cavitas glenoidalis resulted caudal in a mean value of 3.02 mm, medial of 2.74 mm and cranial of 3.31 mm.

The Labrador retriever in comparison to the other breeds had the most extensive thickness at every localization and the German shepherd had the smallest. The craniocaudal distance (mean 29.51 mm) and also the depth of the cavitas glenoidalis (mean 6.99 mm) and the length of the cavitas glenoidalis (mean 32.99 mm) showed variations in relation to breed, sex and body weight. Therefore the craniocaudal distance was longer in much heavier, male dogs of larger breeds.

In summary the length of the head of the humerus was 1.8-times longer than the length of the cavitas glenoidalis.

The depth (mean 7.40 mm) and the distance of the sulcus intertubercularis (mean 15.75 mm) showed variations depending on sex and body weight of the patients. There was no high-significant difference visible regarding the right and left shoulder joint.

The measurements of the present prospective study showed a high reproducibility under standardized conditions.

Results of this study can serve as a base for further examinations of pathological conditions of the shoulder joint in dogs.

## 8 Literaturverzeichnis

- 1. Agostinho F.S., Rahal S.C., Miqueleto N.S.M.L., Verdugo M.R., Inamassu L.R. und El-Warrak A.O. (2011):** Kinematic analysis of Labrador Retrievers and Rottweilers trotting on a treadmill.  
In: Vet Comp Orthop Traumatol, 24 (3): S. 185-191.
- 2. Assheuer J. und Sager M. (1997):** Thoracic Limb.  
In: Assheuer J und Sager M: MRI and CT Atlas of the Dog, Berlin, Blackwell Science.
- 3. Bardet J.F. (1998):** Diagnosis of Shoulder Instability in Dogs and Cats: A Retrospective Study.  
In: J Am Anim Hosp Assoc, 34 (1): S. 42-54.
- 4. Bokor D.J., O'Sullivan M.D. und Hazan G.J. (1999):** Variability of measurement of glenoid version on computed tomography scan.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 8 (6): S. 595-598.
- 5. Brinckmann P., Frobin W. und Leivseth G. (2000):** 14 Mechanische Eigenschaften von Knochen.  
In: Brinckmann P, Frobin W und Leivseth G (Hrsg.): Orthopädische Biomechanik, Stuttgart, Thieme.
- 6. Budras K.D., Fricke W. und Richter R. (1996):** 3. Schultergliedmasse.  
In: Budras KD, Fricke W und Richter R (Hrsg.): Atlas der Anatomie des Hundes, 5. Aufl., Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft.
- 7. Bullough P., Goodfellow J. und O'Connor J. (1973):** The Relationship Between Degenerative Changes And Load-Bearing In The Human Hip.  
In: J Bone Joint Surg Am, 55B (4): S. 746-758.
- 8. Bullough P.G. (1981):** The Geometry of Diarthrodial Joints, its Physiologic Maintenance, and the Possible Significance of Age-Related Changes in Geometry-to-Load Distribution and the Development of Osteoarthritis.  
In: Clin Orthop Relat Res, 156 (5): S: 61-66.
- 9. Bussabarger R.A., Freeman S. und Ivy A.C. (1937):** The Experimental Production of Severe Homogeneous Osteoporosis By Gastrectomy In Puppies.  
In: Am J Physiol, 121 (1): S. 137-148.
- 10. Caldemeyer K.S. und Buckwalter K.A. (1999):** The basic principles of computed tomography and magnetic resonance imaging.  
In: J Am ACAD Dermatol, 41 (5): S. 768-771.



- 11. Churchill R.S., Brems J.J. und Kotschi H. (2001):** Glenoid size, inclination, and version: An anatomic study.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 10 (4): S. 327-332.
- 12. Cogar S.M., Cook C.R., Curry S.L., Grandis A. und Cook J.L. (2008):** Prospective Evaluation of Techniques for Differentiating Shoulder Pathology As a Source of Forelimb Lameness in Medium and Large Breed Dogs.  
In: Vet Surg, 37 (2): S. 132-141.
- 13. Cone R.O., Danzig L., Resnick D. und Goldman A.B. (1983):** The Bicipital Groove: Radiographic, Anatomic, and Pathologic Study.  
In: AJR, 141 (4): S. 781-788.
- 14. Cook J.L., Renfro D.C., Tomlinson J.L. und Sorensen J.E. (2005):** Measurement of Angels of Abduction for Diagnosis of Shoulder Instability in Dogs Using Goniometry and Digital Image Analysis.  
In: Vet Surg, 34 (5): S. 463-468.
- 15. Coulson A. und Lewis N. (2002):** Dog-Forelimb.  
In: Coulson A und Lewis N: An Atlas of Interpretative Radiographic Anatomy of the Dog & Cat, Oxford, Blackwell Science.
- 16. Couteau B., Mansat P., Darmana R., Mansat M. und Egan J. (2000):** Morphological and mechanical analysis of the glenoid by 3D geometric reconstruction using computed tomography.  
In: Clin Biomech, 15 (Suppl. 1): S. 8-12.
- 17. Dennis R., Kirberger R.M., Barr F. und Wrigley R.H. (2010):** Appendicular skeleton.  
In: Dennis R, Kirberger RM, Barr F und Wrigley RH: Handbook of Small Animal Radiology and Ultrasound, Techniques and Differential Diagnoses, 2. Aufl., Edinburgh, Elsevier.
- 18. De Wilde L., Berghs B.M., VandeVyver F., Schepens A. und Verdonk R.C. (2003):** Glenohumeral relationship in the transverse plane of the body.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 12 (3): S. 260-267.
- 19. Doukas W.C. und Speer K.P. (2001):** Anatomy, pathophysiology, and biomechanics of shoulder instability.  
In: Orthop Clin North Am, 32 (3): S. 381-391.
- 20. Eckstein F., Müller-Gerbl M. und Putz R. (1992):** Distribution of subchondral bone density and cartilage thickness in the human patella.  
In: J Anat, 180 (3): S. 425-433.
- 21. Eller D. (2003):** Anatomische und biomechanische Untersuchungen am Schultergelenk (Articulatio humeri) des Hundes (Canis familiaris).  
In: Inaugural-Dissertation. München.

- 22. Engelke K. (2002):** Quantitative Computertomographie.  
In: J Miner Stoffwechs, 9 (4): S. 22-31.
- 23. Evans H.E. (1993):** 4 The Skeleton; 5 Arthrology; 6 The Muscular System.  
In: Evans HE: Miller's anatomy of the dog, 3. Aufl., London, Elsevier Saunders.
- 24. Evans H.E. und de Lahunta A. (2010):** 2 The Skeletal and Muscular Systems.  
In: Evans HE und de Lahunta A: Guide to the Dissection of the Dog, 7. Aufl., Oxford, Elsevier Saunders.
- 25. Fetter A.W., Siemering G.H. und Riser W.H. (1985):** 55 Osteoporosis and Osteopetrosis.  
In: Newton CD und Nunamaker DM (Hrsg.): Textbook of small animal orthopaedics, Philadelphia, J.B. Lippincott Company.
- 26. Flohr T. (2008):** 1 Technische Grundlagen und Anwendungen der Mehrschicht-CT.  
In: Brüning R, Küttner A und Flohr T (Hrsg.): Mehrschicht-CT, Ein Leitfaden, Heidelberg, Springer.
- 27. Friedman R.J., Hawthorne K.B. und Genez B.M. (1992):** The use of computerized tomography in the measurement of glenoid version.  
In: J Bone Joint Surg Am, 74 (7): S. 1032-1037.
- 28. Gevantmakher M. und Meinel C. (2004):** 2 Grundlagen.  
In: Gevantmakher M und Meinel C: Medizinische Bildverarbeitung-eine Übersicht, Forschungsbericht Nr.04-3, Universität Trier.
- 29. Gielen I. und van Bree H. (2004):** 3.3 Computertomographie.  
In: Kramer M. (Hrsg.): Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie, Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft.
- 30. Gillette R.L. und Zebas C.J. (1999):** A Two-Dimensional Analysis of Limb Symmetry in the Trot of Labrador Retrievers.  
In: J Am Anim Hosp Assoc, 35 (6): S. 515-520.
- 31. Gohlke F. (2000):** Biomechanik der Schulter.  
In: Orthopäde, 29 (10): S. 834-844.
- 32. Gray M.J., Lambrechts N.E., Maritz N.G.J. und Joubert K.E. (2005):** A biomechanical investigation of the static stabilisers of the glenohumeral joint in the dog.  
In: Vet Comp Orthop Traumatol, 18 (2): S. 55-61.
- 33. Grillenberger A. und Fritsch E. (2007):** 9.3 Artefakte.  
In: Grillenberger A, Fritsch E: Computertomographie: Eine Einführung in ein modernes bildgebendes Verfahren, Wien, Facultas Universitätsverlag.

- 34. Groß K.L., Wedekind K.J., Cowell C.S., Schoenherr W.D., Jewell D.E., Zicker S.C., Debruekeleer J. und Frey R.A. (2002):** 2 Nährstoffe.  
In: Hand MS, Thatcher CD, Remillard RL, Roudebush P (Hrsg.): Klinische Diätetik für Kleintiere, 4. Aufl., Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft.
- 35. Halder A. (2010):** 1 Anatomie und Kinematik des Schultergelenks.  
In: Loew (Hrsg.): AE-Manual der Endoprothetik, Schulter. Heidelberg, Springer.
- 36. Hathcock, J.T. und Stickle, R.L. (1993):** Principles and concepts of computed tomography.  
In: Vet Clin North Am Small Anim Pract, 23 (2): S. 399-415.
- 37. Hecht S. und Morandi F. (2008):** 5 Weiterführende bildgebende Verfahren.  
In: Hecht S (Hrsg.): Röntgendiagnostik in der Kleintierpraxis, Stuttgart, Schattauer.
- 38. Hedtmann A., Heers G. und Heidersdorf S. (2001):** Bildgebende Verfahren an der Schulter.  
In: Arthroskopie, 14 (2): S. 74-93.
- 39. Hendrickx P. und Krahn-Peters V. (2001):** Verletzungen des Schultergelenks, Weiterführende bildgebende Diagnostik.  
In: Trauma und Berufskrankh, 3 (Suppl. 4): S. 512-518.
- 40. Iannotti J.P., Gabriel J.P., Schneck S.L., Evans B.G. und Misra S. (1992):** The Normal Glenohumeral Relationships. An anatomical study of one hundred and forty shoulders.  
In: J Bone Joint Surg Am, 74-A (4): S. 491-500.
- 41. Issever, A.S. und Link, T.M. (2010):** Radiologische Diagnostik der Osteoporose.  
In: Radiologe, 50 (5): S. 471-481.
- 42. Itoi E., Hsu H.-C. und An K.-N. (1996):** Biomechanical investigation of the glenohumeral joint.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 5 (5): S. 407-424.
- 43. Jaegger G., Marcellin-Little D.J. und Levine D. (2002):** Reliability of goniometry in Labrador Retrievers.  
In: Am J Vet Res, 63 (7): S. 979-986.
- 44. Jury E. (1999):** 1. Teil: Technik.  
In: Binder E, Eder C, Gurmann C und Jury E: Computertomographie: von der Technik bis zum Patienten, Diplomarbeit, Wien.
- 45. Karabork H. (2009):** Three-Dimensional Measurements of Glenohumeral Joint Surfaces in Sheep, Cat and Rabbit by Photogrammetry.  
In: J Anim Vet Adv, 8 (7): S. 1248-1251.

- 46. König H.E. und Liebich H.-G. (1999):** 3. Vorder- oder Schultergliedmaßen (Membra thoracica).  
In: König HE, Liebich H-G (Hrsg.): Anatomie der Haussäugetiere, 3. Aufl., Stuttgart, Schattauer.
- 47. Krämer E.-M. (2004):** Hütehunde; Jagdhunde unter Führungseinfluss.  
In: Krämer E-M: Hunderassen, Die 200 beliebtesten Rassen, Stuttgart, Franckh-Kosmos Verlags GmbH & Co.
- 48. Kramer M., Gerwing M., Hach V. und Schimke E. (1997):** Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats.  
In: Vet Radiol & Ultrasound, 38 (2): S. 139-149.
- 49. Kramer M., Gerwing M., Sheppard C. und Schimke E. (2001):** Ultrasonography for the Diagnosis of Diseases of the Tendon and Tendon Sheath of the Biceps Brachii Muscle.  
In: Vet Surg, 30 (1): S. 64-71.
- 50. Kramer M. und Schimke E.(2007):** 19.4 Muskel und Sehnenerkrankungen.  
In: Grünbaum EG und Schimke E (Hrsg.): Klinik der Hundekrankheiten, 3. Aufl., Stuttgart, Enke.
- 51. Kreuzer S.H. und Našel C. (2006):** Bildgebung mittels CT und MRT.  
In: Lehrner J., Pusswald G., Fertl E., Strubreither W., Kryspin-Exner I. (Hrsg.): Klinische Neuropsychologie, Grundlagen-Diagnostik-Rehabilitation, Wien, Springer-Verlag.
- 52. Kudnig S.T. (2007):** Shoulder lameness in the dog- unraveling the mystery with arthroscopy.  
In: the Science Week Proceeding 2007, Australian College of Veterinary Scientists.
- 53. Kunkel K.A. und Rochat M.C. (2008):** A Review of Lameness Attributable to the Shoulder in the Dog: Part One.  
In: J Am Anim Hosp Assoc, 44 (4): S. 156-162.
- 54. LaFond E., Breur G.J. und Austin C.C. (2002):** Breed Susceptibility for Development Orthopedic Disease in Dogs.  
In: J Am Anim Hosp Assoc, 38 (5): S. 467-477.
- 55. Laubenberger T. und Laubenberger J. (1999):** 2 Grundlagen.  
In: Laubenberger Th und Laubenberger J (Hrsg.): Technik der medizinischen Radiologie, 7. Aufl., Köln, Deutscher Ärzte Verlag Köln.
- 56. Lauten S.D., Cox N.R., Brawner W.R. und Baker H.J. (2001):** Use of dual energy x-ray absorptiometry for noninvasive body composition measurements in clinically normal dogs.  
In: Am J Vet Res, 62 (8): S. 1295-1301.

- 57. Lenehan T.M. (1985):** 84 Canine osteochondrosis.  
In: Newton CD und Nunamaker DM (Hrsg.): Textbook of small animal orthopaedics, Philadelphia, J.B. Lippincott Company.
- 58. Lewis L.D., Morris Jr. M.L. und Hand M.S. (1990):** 12 Skelett- und neuromuskuläre Erkrankungen.  
In: Lewis LD, Morris Jr ML und Hand MS: Klinische Diätetik für Hund und Katze, Hannover, Schlütersche Verlagsgesellschaft.
- 59. Linsenmaier U., Kersting S., Schlichtenhorst K., Putz R., Pfeifer K.J., Reiser M. und Müller-Gerbl M. (2003):** Funktionelle Computertomographie: Beanspruchungsabhängige Darstellung der subchondralen Mineralisierung mittels CT gestützter Osteoabsorptiometrie (CTOAM).  
In: Fortschr Röntgenstr, 175 (5): S. 663-669.
- 60. Lippitt S.B., Vanderhooft J.E., Harris S.L., Sidles J.A., Harryman D.T. und Matsen F.A. (1993):** Glenohumeral stability from concavity-compression: A quantitative analysis.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 2 (1): S. 27-35.
- 61. Mallon W.J., Brown H.R., Vogler J.B. und Martinez S. (1992):** Radiographic and Geometric Anatomy of the Scapula.  
In: Clin Orthop Relat Res, (277): S. 142-154.
- 62. Marcellin-Little D.J., Levine D. und Canapp S.O. (2007):** The Canine Shoulder: Selected Disorders and Their Management with Physical Therapy.  
In: Clin Tech Small Anim Pract, 22 (4): S. 171-182.
- 63. McCluskey G.M. und Getz B.A. (2000):** Pathophysiology of Anterior Shoulder Instability.  
In: J Athl Train, 35 (3): S. 268-272.
- 64. McKee M. und Macias C. (2011):** Orthopaedic conditions of the shoulder in the dog.  
In: In Practice, 26 (3): S. 118-129.
- 65. McPherson E.J., Friedman R.J., An Y.H., Chokesi R. und Dooley R.L. (1997):** Anthropometric study of normal glenohumeral relationships.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 6 (2): S. 105-112.
- 66. Meirer R., Müller-Gerbl M., Huemer G.M., Schirmer M., Herold M., Kersting S., Freund M.C., Rainer C., Gardetto A., Wanner S. und Piza-Katzer H. (2004):** Quantitative assessment of periarticular osteopenia in patients with early rheumatoid arthritis: a preliminary report.  
In: Scand J Rheumatol, 33 (5): S. 307-311.
- 67. Möller T.B. und Reif E. (1998):** Gelenke.  
In: Möller TB und Reif E: CT-und MRT-Normalbefunde, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

- 68. Morgan J.P., Wind A. und Davidson A.P. (1999):** Bone Dysplasias in the Labrador Retriever: A Radiographic Study.  
In: J Am Anim Hosp Assoc, 35 (4): S. 332-340.
- 69. Moyad M.A. (2003):** Osteoporosis: a rapid review of risk factors and screening methods.  
In: Urol Oncol, 21 (5): S. 375-379.
- 70. Müller-Gerbl M., Putz R., Hodapp N., Schulter E. und Wimmer B. (1989):** Computed tomography-osteabsorptiometry for assessing the density distribution of subchondral bone as a measure of long-term mechanical adaptation in individual joints.  
In: Skeletal Radiol, 18 (7) : S. 507-512.
- 71. Müller-Gerbl M., Putz R., Hodapp N., Schulter E. und Wimmer B. (1990 a):** Die Darstellung der subchondralen Dichtemuster mittels der CT-Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) zur Beurteilung der individuellen Gelenkbeanspruchung am Lebenden.  
In: Z Orthop, 128: S. 128-133.
- 72. Müller-Gerbl M., Putz R., Hodapp N., Schulter E. und Wimmer B. (1990 b):** Computed tomography – osteoabsorptiometry: a method of assessing the mechanical condition of the major joints in a living subject.  
In: Clini Biomech, 5 (4): S. 193-198.
- 73. Müller-Gerbl M., Putz R. und Kenn R. (1993):** Verteilungsmuster der subchondralen Mineralisierung in der Cavitas Glenoidalis bei Normalpersonen, Sportlern und Patienten.  
In: Z Orthop, 131: S. 10-13.
- 74. Müller S. und Groß D. (2006):** Farben als Werkzeug der Erkenntnis, Falschfarbendarstellung in der Gehirnforschung und in der Astronomie.  
In: Groß D und Duncker TH (Hrsg.): Anthropina-Aachener Beiträge zur Geschichte, Theorie und Ethik der Medizin1; Farbe-Erkennntnis-Wissenschaft, Berlin, LIT Verlag.
- 75. Newton C.D. (1985):** 21 Dislocation of the shoulder.  
In: Newton CD und Nunamaker DM (Hrsg.): Textbook of small animal orthopaedics, Philadelphia, J.B. Lippincott Company.
- 76. Newton C.D. und Biery D.N. (1989):** 121 Skeletal Diseases.  
In: Ettinger SJ (Hrsg.): Textbook of Veterinary Internal Medicine, Volume 2, 3. Aufl., Philadelphia, WB Saunders.
- 77. Nickel R., Schummer A. und Seiferle E. (2001):** Knochenlehre, Osteologia; Gelenklehre, Arthrologia; Muskelsystem, Myologia.  
In: Nickel R, Schummer A, Seiferle E (Hrsg.): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, 7. Aufl., Berlin, Parey.

- 78. Nyffeler R.W., Jost B., Pfirrmann C.W.A. und Gerber C. (2003):** Measurement of glenoid version: Conventional radiographs versus computed tomography scans.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 12 (5): S. 493-496.
- 79. Ohlerth S. und Scharf G. (2007):** Computed tomography in small animals – Basic principles and state of the art applications.  
In: Vet J, 173: S. 254-271.
- 80. Olivieri M., Piras A., Marcellin-Little D.J., Borghetti P. und Vezzoni A. (2004):** Accessory caudal glenoid ossification centre as possible cause of lameness in nine dogs.  
In: Vet Comp Orthop Traumatol, 17 (3): S. 131-135.
- 81. Persigehl T. (2003):** Entspricht die mit einem hochauflösenden Magnetresonanztomographen abgebildete trabekuläre Knochenstruktur der wahren Knochenstruktur des Kalkaneus?  
In: Inaugural-Dissertation. Münster.
- 82. Piermattei D.L., Flo G.L. und DeCamp C. (2006):** 6 Arthrology; 9 The Shoulder Joint.  
In: Piermattei D, Flo G, DeCamp C (Hrsg.): Brinker, Piermattei, and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair, 4. Aufl., Philadelphia, WB Saunders.
- 83. Prokop M. (2006):** 1 Grundlagen.  
In: Prokop M., Galanski M., Schaefer-Prokop C. und van der Molen A.J. (Hrsg.): Ganzkörper-Computertomographie, Spiral- und Multislice-CT, 2. Aufl., Stuttgart, Thieme.
- 84. Raith A.K. (2010):** Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes – Eine Reevaliierung.  
In: Inaugural-Dissertation. München.
- 85. Randelli M. und Gabrioli P.L. (1986):** Glenohumeral Osteometry by Computed Tomography in Normal and Unstable Shoulders.  
In: Clin Orthop Relat Res, (208): S. 151-156.
- 86. Rauchpach R. und Flohr T. (2008):** 20 Aretefakte in der MSCT.  
In: Brüning R, Küttner A und Flohr T (Hrsg.): Mehrschicht-CT, Ein Leitfaden, Heidelberg, Springer.
- 87. Reuter P. (2000):** Wörterbuch der Humanbiologie.  
In: Reuter P: Wörterbuch der Humanbiologie, Basel-Boston-Berlin, Birkhäuser Verlag.
- 88. Sager M., Herten M., Ruchay S., Assheuer J., Kramer M. und Jäger M. (2009):** The Anatomy of the Glenoid Labrum: A Comparison between Human and Dog.  
In: Comp Med, 59 (5): S. 465-475.

- 89. Schmidt J. (2005):** Studie zur Knochendichtemessung mit Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA) bei der ausgewachsenen Katze.  
In: Inaugural-Dissertation. Hannover.
- 90. Sidaway B.K., McLaughlin R.M., Elder S.H., Boyle C.R. und Silverman E.B. (2006):** The role of negative intra-articular pressure in the maintenance of shoulder joint stability in dogs.  
In: Vet Comp Orthop Traumatol, 19 (3): S. 157-161.
- 91. Simkin P.A., Graney D.O. und Fiechtner J.J. (1980):** Roman arches, human joints, and disease: differences between convex and concave sides of joints.  
In: Arthritis Rheum, 23 (11): S. 1308-1311.
- 92. Simkin P.A., Heston T.F., Downey D.J., Benedict R.S. und Choi H.S. (1991):** Subchondral architecture in bones of the canine shoulder.  
In: J Anat, 175: S. 213-227.
- 93. Simkin P.A., Houghum S.J. und Pickerell C.C. (1985):** Compliance and viscoelasticity of canine shoulders loaded in vitro.  
In: J Biomech, 18 (10): S. 735-743.
- 94. Simon W.H., Friedenberg S. und Richardson S. (1973):** A Correlation of joint congruence and thickness of articular cartilage in dogs.  
In: J Bone Joint Surg, 55-A (8): S. 1614-1620.
- 95. Sonntag F. und Mihaljević M. (2009):** 2 Grundlagen der Computertomographie.  
In: Mihaljević M, Kramer M und Gomerčić H (Hrsg.): CT-und MRT-Atlas. Transversalanatomie des Hundes, 1. Aufl., Stuttgart, Parey.
- 96. Strewe C. (2009):** Planung von Schulterprothesen an 3D-CT-Datensätzen: Entwicklung von Messparametern für das Glenoid am anatomischen Präparat.  
In: Inaugural-Dissertation. München.
- 97. Talcott K.W. und Vasseur P.B. (2003):** 135 Luxation of the Scapulohumeral Joint.  
In: Slatter D (Hrsg.): Textbook of Small Animal Surgery, Volume 2, 3. Aufl., Philadelphia, WB Saunders.
- 98. Tétrault P., Krueger A., Zurakowski D. und Gerber C. (2004):** Glenoid version and rotator cuff tears.  
In: J Orthop Res, 22 (1): S. 202-207.
- 99. Unkel-Mohrmann F. (1999):** Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes.  
Diss. med. vet. , München.
- 100. van Bree H. und Gielen I. (2006):** 7 The shoulder joint and scapula.  
In: Barr FJ und Kirberger RM (Hrsg.): BSAVA Manual of Canine and Feline Musculoskeletal Imaging, Gloucester, BSAVA.



- 101. Vasseur P.B., Moore D., Brown S.A. und Eng D. (1982):** Stability of the canine shoulder joint: An in vitro analysis.  
In: Am J Vet Res, 43 (2): S. 352-355.
- 102. Walch G., Badet R., Boulahia A. und Khoury A. (1999):** Morphologic study of the glenoid in primary glenohumeral osteoarthritis.  
In: J Arthroplasty, 14 (6): S. 756-60.
- 103. Warner J.J.P., Bowen M.K., Deng X., Torzilli P.A. und Warren R.F. (1999):** Effect of joint compression on inferior stability of the glenohumeral joint.  
In: J Shoulder Elbow Surg, 1 (8): S. 31-36.
- 104. Wegener O.-H. (1980):** Artefakte in der Computertomographie.  
In: Fortschr Röntgenstr, 132 (6): S. 643-651.
- 105. Xia Y., Moody J.B., Alhadlaq H., Burton-Wurster N. und Lust G. (2002):** Characteristics of topographical heterogeneity of articular cartilage over the joint surface of a humeral head.  
In: Osteoarthritis Cartilage, 10 (5): S. 370-380.
- 106. Yeh L.R., Kwak S., Kim Y.-S., Chou D.S.W., Muhle C., Skaf A., Trudell D. und Resnick D. (1998):** Evaluation of articular cartilage thickness of the humeral head and the glenoid fossa by MR arthrography: anatomic correlation in cadavers.  
In: Skeletal Radiol, 27 (9): S. 500-504.
- 107. Zacher J., Carl H.D., Swoboda B. und Backhaus M. (2007):** Bildgebung bei der Arthrose peripherer Gelenke.  
In: Z Rheumatol, 66 (3): S. 257-266.

## 9 Anhang

*Tabelle 1: Deskriptive Statistik: Mit Erfassung von Mittelwert und Standardabweichung vom Körpergewicht (KGW), Alter, Schultergelenkwinkel (WinkelSch), Pfannenwinkel (Pfwinkel), Messung des Humeruskopfes (Lhumkop), Schultergelenkspaltweite kranial (Gcran), medial (Gmed) und kaudal (Gcaud), Flächen- (FIHumkop) und Dichtemessung des Humeruskopfes (D1m) sowie des Umfangs der Fläche des Humeruskopfes (D1P), Flächen- (FIHmfug) und Dichtemessung des Humerusepiphyse (D2m) sowie des Umfangs der Fläche der Humerusepiphyse (D2P), Flächen- (FIsubch) und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (D3m) sowie des Umfangs der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (D3P), Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf kranial (Hukcran), medial (Hukmed) und kaudal (Hukcaud), Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens der Cavitas glenoidalis kranial (Cavcran), medial (Cavmed) und kaudal (Cavkaud), Flächen- (FISkap) und Dichtemessung des gelenknahen Anteils der Skapula (D4m) sowie des Umfangs der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (D4P), kraniokaudaler Abstand (AbstCav), Tiefe (TiefCav) und Länge der Cavitas glenoidalis (LaengCv), Tiefe (TiefSul) und Abstand des Sulcus intertubercularis (AbstSul) unter Berücksichtigung des Geschlechts(männlich und weiblich) und der Rasse (GoldRetr – Golden Retriever, LabrRetr – Labrador Retriever und DSH – Deutscher Schäferhund), hierbei steht die Ziffer 1 jeweils für das rechte Schultergelenk (z.B. WinkelSch1) und die Ziffer 2 für das linke Schultergelenk (z.B. WinkelSch2):*

Variable	Gruppenvariable		Mittelwert	Standardabweichung
KGW			29.36	4.19
	Rasse	GoldRetr	28.76	3.64
		LabrRetr	28.04	4.32
		DSH	30.88	3.95
	Geschlecht	weiblich	27.16	3.29
		männlich	31.78	3.73
Alter			15.66	4.95
	Rasse	GoldRetr	16.38	4.19

## Anhang

		LabrRetr	14.62	1.73
		DSH	16.14	6.83
	Geschlecht	weiblich	15.80	3.82
		männlich	15.50	5.98
WinkelSch1			165.53	5.45
	Rasse	GoldRetr	167.78	3.67
		LabrRetr	167.93	4.11
		DSH	162.02	5.56
	Geschlecht	weiblich	165.97	5.82
		männlich	165.03	4.99
WinkelSch2			165.78	5.09
	Rasse	GoldRetr	167.80	3.41
		LabrRetr	167.96	4.38
		DSH	162.72	4.96
	Geschlecht	weiblich	165.99	5.34
		männlich	165.55	4.83
Pfwinkel1			22.57	3.45
	Rasse	GoldRetr	21.69	2.96
		LabrRetr	21.46	3.74
		DSH	24.10	2.89
	Geschlecht	weiblich	22.56	3.27
		männlich	22.59	3.67
Pfwinkel2			22.07	3.25
	Rasse	GoldRetr	21.23	3.07
		LabrRetr	21.06	3.26
		DSH	23.44	2.87
	Geschlecht	weiblich	21.97	3.24
		männlich	22.18	3.28
Lhumkop1			58.05	6.27
	Rasse	GoldRetr	55.26	4.40
		LabrRetr	55.19	4.58
		DSH	62.30	6.19
	Geschlecht	weiblich	56.17	6.35
		männlich	60.14	5.51
Lhumkop2			58.62	6.75
	Rasse	GoldRetr	55.76	4.47
		LabrRetr	54.89	4.64
		DSH	63.50	6.42
	Geschlecht	weiblich	56.24	6.06
		männlich	61.23	6.53
Gcran1			3.45	1.22
	Rasse	GoldRetr	2.95	0.99
		LabrRetr	3.48	1.10
		DSH	3.71	1.36
	Geschlecht	weiblich	3.29	1.19
		männlich	3.62	1.23
Gcran2			3.46	0.99
	Rasse	GoldRetr	3.07	0.77

## Anhang

		LabrRetr	3.55	0.98
		DSH	3.60	1.06
	Geschlecht	weiblich	3.34	0.98
		männlich	3.60	0.99
Gmed1			3.64	0.80
	Rasse	GoldRetr	3.57	0.74
		LabrRetr	3.65	0.77
		DSH	3.66	0.88
	Geschlecht	weiblich	3.55	0.70
		männlich	3.73	0.90
Gmed2			3.58	0.68
	Rasse	GoldRetr	3.49	0.69
		LabrRetr	3.65	0.66
		DSH	3.57	0.70
	Geschlecht	weiblich	3.52	0.66
		männlich	3.64	0.70
Gcaud1			1.87	0.61
	Rasse	GoldRetr	1.91	0.52
		LabrRetr	1.65	0.41
		DSH	2.06	0.73
	Geschlecht	weiblich	1.72	0.51
		männlich	2.04	0.66
Gcaud2			1.81	0.62
	Rasse	GoldRetr	1.80	0.56
		LabrRetr	1.71	0.53
		DSH	1.91	0.72
	Geschlecht	weiblich	1.73	0.60
		männlich	1.90	0.64
FIHumkop1			485.67	91.47
	Rasse	GoldRetr	448.57	62.96
		LabrRetr	444.99	73.31
		DSH	544.53	89.85
	Geschlecht	weiblich	450.48	83.09
		männlich	524.81	84.65
FIHumkop2			504.67	105.24
	Rasse	GoldRetr	464.49	74.40
		LabrRetr	442.45	67.77
		DSH	581.78	98.97
	Geschlecht	weiblich	467.23	90.02
		männlich	545.79	105.95
D1m1			528.67	69.12
	Rasse	GoldRetr	506.17	37.90
		LabrRetr	599.55	44.94
		DSH	478.37	43.82
	Geschlecht	weiblich	522.88	67.97
		männlich	535.11	70.30
D1m2			559.55	409.59
	Rasse	GoldRetr	503.24	39.62

## Anhang

		LabrRetr	596.72	43.66
		DSH	559.56	638.91
	Geschlecht	weiblich	516.58	67.56
		männlich	606.76	587.68
D1P1			99.66	9.98
	Rasse	GoldRetr	95.36	6.66
		LabrRetr	94.22	7.75
		DSH	107.13	8.71
	Geschlecht	weiblich	96.34	9.22
		männlich	103.36	9.52
D1P2			101.01	11.02
	Rasse	GoldRetr	97.24	7.33
		LabrRetr	93.51	7.14
		DSH	109.69	9.52
	Geschlecht	weiblich	96.99	10.00
		männlich	105.42	10.45
FIHmfug1			611.63	142.28
	Rasse	GoldRetr	554.35	77.92
		LabrRetr	523.09	98.67
		DSH	725.69	127.93
	Geschlecht	weiblich	572.97	123.61
		männlich	654.65	150.00
FIHmfug2			615.00	142.18
	Rasse	GoldRetr	563.46	74.87
		LabrRetr	511.87	84.14
		DSH	734.16	123.17
	Geschlecht	weiblich	566.32	123.15
		männlich	668.47	143.23
D2m1			502.87	80.22
	Rasse	GoldRetr	496.44	39.10
		LabrRetr	588.75	44.38
		DSH	429.44	36.29
	Geschlecht	weiblich	497.04	75.78
		männlich	509.36	84.95
D2m2			508.00	80.40
	Rasse	GoldRetr	497.78	47.39
		LabrRetr	592.25	50.08
		DSH	440.67	39.49
	Geschlecht	weiblich	498.31	72.71
		männlich	518.65	87.37
D2P1			125.42	13.46
	Rasse	GoldRetr	118.29	9.89
		LabrRetr	118.93	10.54
		DSH	135.54	11.23
	Geschlecht	weiblich	121.26	12.32
		männlich	130.04	13.25
D2P2			125.95	14.50
	Rasse	GoldRetr	118.80	9.20

## Anhang

		LabrRetr	117.19	9.54
		DSH	137.66	12.42
	Geschlecht	weiblich	121.19	12.89
		männlich	131.17	14.45
FIsbch1			130.01	27.92
	Rasse	GoldRetr	109.05	18.14
		LabrRetr	124.80	22.76
		DSH	147.28	26.67
	Geschlecht	weiblich	120.71	25.11
		männlich	140.36	27.39
FIsbch2			134.52	29.65
	Rasse	GoldRetr	114.81	21.50
		LabrRetr	127.58	23.75
		DSH	151.86	29.04
	Geschlecht	weiblich	126.22	29.94
		männlich	143.64	26.68
D3m1			737.10	59.54
	Rasse	GoldRetr	715.55	40.87
		LabrRetr	788.10	47.10
		DSH	704.13	46.89
	Geschlecht	weiblich	730.54	57.61
		männlich	744.40	61.19
D3m2			732.06	59.39
	Rasse	GoldRetr	717.51	49.88
		LabrRetr	778.25	45.56
		DSH	700.28	49.56
	Geschlecht	weiblich	721.76	55.30
		männlich	743.38	62.01
D3P1			102.48	11.58
	Rasse	GoldRetr	97.70	8.37
		LabrRetr	98.68	9.91
		DSH	108.77	11.91
	Geschlecht	weiblich	98.77	10.47
		männlich	106.62	11.42
D3P2			103.05	13.28
	Rasse	GoldRetr	97.34	10.12
		LabrRetr	97.36	9.94
		DSH	111.28	13.21
	Geschlecht	weiblich	98.48	12.25
		männlich	108.08	12.59
Hukcran1			2.18	0.51
	Rasse	GoldRetr	2.16	0.39
		LabrRetr	2.09	0.37
		DSH	2.26	0.65
	Geschlecht	weiblich	2.15	0.51
		männlich	2.20	0.51
Hukcran2			2.08	0.55
	Rasse	GoldRetr	2.31	0.48

## Anhang

		LabrRetr	2.05	0.40
		DSH	1.99	0.67
	Geschlecht	weiblich	2.04	0.50
		männlich	2.13	0.61
Hukmed1			2.70	0.76
	Rasse	GoldRetr	2.49	0.76
		LabrRetr	2.79	0.56
		DSH	2.74	0.90
	Geschlecht	weiblich	2.72	0.69
		männlich	2.67	0.84
Hukmed2			2.63	0.74
	Rasse	GoldRetr	2.61	0.52
		LabrRetr	2.75	0.66
		DSH	2.54	0.90
	Geschlecht	weiblich	2.62	0.70
		männlich	2.64	0.79
Hukcaud1			3.55	1.03
	Rasse	GoldRetr	3.11	0.67
		LabrRetr	3.30	0.78
		DSH	4.05	1.19
	Geschlecht	weiblich	3.49	0.94
		männlich	3.62	1.12
Hukcaud2			3.66	1.15
	Rasse	GoldRetr	3.19	0.79
		LabrRetr	3.46	1.31
		DSH	4.10	1.03
	Geschlecht	weiblich	3.52	1.14
		männlich	3.81	1.15
Cavcran1			3.32	1.02
	Rasse	GoldRetr	3.21	0.79
		LabrRetr	3.99	0.94
		DSH	2.77	0.87
	Geschlecht	weiblich	3.18	1.00
		männlich	3.47	1.03
Cavcran2			3.30	1.02
	Rasse	GoldRetr	3.16	0.62
		LabrRetr	4.07	1.06
		DSH	2.70	0.70
	Geschlecht	weiblich	3.19	1.02
		männlich	3.41	1.01
Cavmed1			2.70	0.64
	Rasse	GoldRetr	2.67	0.66
		LabrRetr	2.74	0.63
		DSH	2.69	0.64
	Geschlecht	weiblich	2.61	0.67
		männlich	2.80	0.58
Cavmed2			2.77	0.66
	Rasse	GoldRetr	2.64	0.47

## Anhang

		LabrRetr	2.88	0.86
		DSH	2.76	0.53
	Geschlecht	weiblich	2.69	0.48
		männlich	2.86	0.81
Cavcaud1			3.06	0.58
	Rasse	GoldRetr	2.78	0.49
		LabrRetr	3.24	0.49
		DSH	3.07	0.65
	Geschlecht	weiblich	3.01	0.61
		männlich	3.13	0.55
Cavcaud2			2.98	0.64
	Rasse	GoldRetr	2.80	0.61
		LabrRetr	3.26	0.57
		DSH	2.85	0.65
	Geschlecht	weiblich	2.91	0.66
		männlich	3.06	0.62
FISkap1			859.00	178.06
	Rasse	GoldRetr	806.36	110.34
		LabrRetr	724.08	112.00
		DSH	1012.00	139.35
	Geschlecht	weiblich	799.27	167.78
		männlich	925.46	166.18
FISkap2			857.29	166.37
	Rasse	GoldRetr	814.20	91.08
		LabrRetr	727.55	100.87
		DSH	994.74	139.98
	Geschlecht	weiblich	795.56	151.09
		männlich	925.11	156.51
D4m1			664.57	106.46
	Rasse	GoldRetr	658.21	66.785
		LabrRetr	758.29	63.48
		DSH	584.05	87.75
	Geschlecht	weiblich	673.68	106.36
		männlich	654.45	106.40
D4m2			659.88	108.27
	Rasse	GoldRetr	659.68	74.00
		LabrRetr	759.39	57.48
		DSH	573.54	81.39
	Geschlecht	weiblich	661.10	106.13
		männlich	658.55	111.33
D4P1			125.42	12.15
	Rasse	GoldRetr	120.71	8.62
		LabrRetr	117.40	8.64
		DSH	135.46	9.30
	Geschlecht	weiblich	120.86	11.43
		männlich	130.50	10.91
D4P2			125.39	11.45
	Rasse	GoldRetr	121.73	7.15



## Anhang

		LabrRetr	117.04	7.86
		DSH	134.74	9.09
	Geschlecht	weiblich	120.87	10.69
		männlich	130.35	10.18
AbstCav1			29.44	2.69
	Rasse	GoldRetr	27.85	2.03
		LabrRetr	28.01	1.84
		DSH	31.68	2.08
	Geschlecht	weiblich	28.28	2.44
		männlich	30.73	2.36
AbstCav2			29.58	2.86
	Rasse	GoldRetr	28.01	1.79
		LabrRetr	28.09	1.87
		DSH	31.77	2.65
	Geschlecht	weiblich	28.401	2.80
		männlich	30.88	2.32
TiefCav1			6.98	0.83
	Rasse	GoldRetr	6.69	0.81
		LabrRetr	6.84	0.72
		DSH	7.28	0.86
	Geschlecht	weiblich	6.68	0.74
		männlich	7.31	0.82
TiefCav2			7.01	0.93
	Rasse	GoldRetr	6.65	1.02
		LabrRetr	6.90	0.79
		DSH	7.32	0.92
	Geschlecht	weiblich	6.68	0.87
		männlich	7.37	0.87
LaengCv1			32.93	3.04
	Rasse	GoldRetr	31.11	2.19
		LabrRetr	31.43	2.13
		DSH	35.36	2.52
	Geschlecht	weiblich	31.60	2.72
		männlich	34.40	2.69
LaengCv2			33.06	2.91
	Rasse	GoldRetr	31.36	2.06
		LabrRetr	31.47	2.11
		DSH	35.42	2.25
	Geschlecht	weiblich	31.80	2.57
		männlich	34.45	2.62
AbstSul1			15.93	1.74
	Rasse	GoldRetr	15.84	1.56
		LabrRetr	15.34	1.58
		DSH	16.51	1.82
	Geschlecht	weiblich	15.30	1.59
		männlich	16.63	1.64
AbstSul2			15.58	1.51
	Rasse	GoldRetr	15.79	1.37

## Anhang

		LabrRetr	15.25	1.40
		DSH	15.75	1.65
	Geschlecht	weiblich	14.95	1.42
		männlich	16.28	1.30
TiefSul1			7.42	1.31
	Rasse	GoldRetr	7.07	1.29
		LabrRetr	7.04	1.26
		DSH	7.98	1.18
	Geschlecht	weiblich	7.06	1.24
		männlich	7.83	1.27
TiefSul2			7.38	1.39
	Rasse	GoldRetr	7.11	1.18
		LabrRetr	7.05	1.48
		DSH	7.83	1.32
	Geschlecht	weiblich	6.88	1.16
		männlich	7.94	1.42

*Tabelle 2: Deskriptive Statistik: Geschlechtsverteilung:*

Geschlechtsverteilung	
weiblich	81
männlich	74

*Tabelle 3: Deskriptive Statistik: Rasseverteilung:*

Rasseverteilung	
Golden Retriever	37
Labrador Retriever	55
Deutscher Schäferhund	63

*Tabelle 4: Deskriptive Statistik: Geschlechtsverteilung in Abhängigkeit zur Rasse:*

Geschlechtsverteilung innerhalb der Rassen		
Geschlecht	Rasse	Anzahl
weiblich	Golden Retriever	19
weiblich	Labrador Retriever	26
weiblich	Deutscher Schäferhund	31
männlich	Golden Retriever	15
männlich	Labrador Retriever	26
männlich	Deutscher Schäferhund	27

*Tabelle 5: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. Kovariable (Körpergewicht) und die 2. Kovariable (Alter) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Das Körpergewicht wird in Kilogramm (kg) und das Alter in Monaten wiedergegeben:*

Mittelwerte und Standardabweichung für die 1. Kovariable (Körpergewicht) und 2. Kovariable (Alter)									
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		
Rasse	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
Körpergewicht	26.97	3.31	25.70	3.35	28.59	2.72	30.27	2.27	32.81
Alter	16.89	4.34	14.69	1.85	15.81	3.98	15.07	2.19	15.15

*Tabelle 6: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (WinkelSch) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit zum Geschlecht. WinkelSch1 steht für die Messung des Schultergelenkwinkels der rechten Schulter, WinkelSch2 für die Messung des Schultergelenkwinkels der linken Schulter. Die Werte werden in Grad (°) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (WinkelSch)									
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		
Rasse	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
WinkelSch1	168.53	3.49	168.42	4.85	162.00	5.85	166.87	4.02	161.81
WinkelSch2	168.21	2.92	168.62	4.45	162.13	5.06	167.27	4.10	163.33

*Tabelle 7: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (WinkelSch- Schultergelenkwinkel) mit Angabe des p-Wertes:*

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (WinkelSch)	
	p-Wert
Rasse	0.0000

*Tabelle 8: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Pfwinkel) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Pfwinkel1 steht für die Messung des Pfannenwinkels der rechten Schulter, Pfwinkel2 für die Messung des Schultergelenkwinkels der linken Schulter. Die Werte werden in Grad (°) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Pfwinkel)										
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Pfwinkel1	21.16	2.14	21.19	3.31	24.58	2.91	22.07	3.83	21.73	4.28
Pfwinkel2	21.11	3.43	20.77	2.85	23.77	2.63	21.27	2.74	21.42	3.69
									23.33	2.84

*Tabelle 9: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Pfwinkel- Pfannenwinkel) mit Angabe des p-Wertes:*

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Pfwinkel)	
	p-Wert
Rasse	0.0000

*Tabelle 10: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Lhumkop) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Lhumkop1 steht für die Messung der Länge des Humeruskopfes der rechten Schulter, Lhumkop2 für die Messung der Länge des Humeruskopfes der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Lhumkop)										
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Lhumkop1	53.81	4.20	51.81	3.05	61.23	6.27	56.58	4.32	58.58	3.36
Lhumkop2	53.87	4.04	51.88	3.33	61.65	4.86	58.75	2.74	58.05	3.64

*Tabelle 11: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Lhumkop- Länge des Humeruskopfes) mit Angabe des p-Wertes:*

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Lhumkop)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0000
1.Kovariate (Körpergewicht)	0.0000

*Tabelle 12: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (Lhumkop- Länge des Humeruskopfes) mit Angabe des Schätzwertes in Millimetern (mm):*

Regressionskoeffizient.	
1. Kovariable (Körpergewicht)	Schätzwert in Millimeter (mm)
	0.46

Tabelle 13: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (FIHumkop) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. FIHumkop1 steht für die Messung der Fläche des Humeruskopfes der rechten Schulter, FIHumkop2 für die Messung der Fläche des Humeruskopfes der linken Schulter. Die Werte werden in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (FIHumkop)									
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		männlich		männlich
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW
FIHumkop1	421.06	62.18	390.94	45.72	517.42	74.74	477.82	52.36	498.79
FIHumkop2	432.33	62.11	400.81	47.90	548.05	70.42	513.59	58.05	486.37
									57.54
									624.11
									56.98
									SD
									92.01
									108.93

Tabelle 14: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FIHumkop - Fläche des Humeruskopfes) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FIHumkop)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0000
1.Kovariablen (Körpergewicht)	0.0000

Tabelle 15: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariablen (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (FIHumkop - Fläche des Humeruskopfes) mit Angabe des Schätzwertes in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>):

Regressionskoeffizient	Schätzwert in Millimetern (mm <sup>2</sup> )
1. Kovariablen (Körpergewicht)	6.08

Tabelle 16: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (FIHumfug) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. FIHumfug1 steht für die Messung der Fläche der Epiphyse des Humeruskopfes der rechten Schulter, FIHumfug2 für die Messung der Fläche der Epiphyse des Humeruskopfes der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm<sup>2</sup>) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (FIHumfug)									
Geschlecht	weiblich		weiblich		männlich		männlich		
Rasse	Golden Retriever	Labrador Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
FIHumfug1	530.29	68.41	470.80	85.91	572.23	81.88	578.25	92.30	145.04
FIHumfug2	535.08	70.97	460.42	105.53	607.80	52.97	563.35	82.48	106.73

Tabelle 17: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FIHumfug - Fläche der Epiphyse des Humeruskopfes) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FIHumfug)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0002
Rasse	0.0000
1. Kovariable (Körpergewicht)	0.0000
2. Kovariable (Alter)	0.0318

Tabelle 18: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) und 2. Kovariable (Alter) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (FIHumfug - Fläche der Epiphyse des Humeruskopfes) mit Schätzwertes in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>):

Regressionskoeffizient.	Schätzwert in Quadratmillimetern (mm <sup>2</sup> )
1. Kovariable (Körpergewicht)	9.61
2. Kovariable (Alter)	3.89

Tabelle 19: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Flsubch) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Flsubch1 steht für die Messung der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes der rechten Schulter, Flsubch2 für die Messung der Fläche des subchondralen des Humeruskopfes der linken Schulter. Die Werte werden in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Flsubch)										
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Flsubch1	102.12	16.73	111.91	18.87	140.93	19.72	118.43	12.99	137.95	19.60
Flsubch2	108.44	22.47	115.60	17.70	146.28	31.81	124.02	17.49	139.28	23.79
									160.73	24.076

Tabelle 20: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Flsubch - Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Flsubch)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0022
Rasse	0.0000
1.Kovariablen (Körpergewicht)	0.0021

Tabelle 21: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariablen (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (Flsubch- Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes) mit Angabe des Schätzwertes in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>):

Regressionskoeffizient.	Schätzwert in Quadratmillimeter (mm <sup>2</sup> )
1. Kovariablen (Körpergewicht)	1.50



Tabelle 22: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (FISkap) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. FISkap1 steht für die Messung der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula der rechten Schulter, FISkap2 für die Messung der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula der linken Schulter. Die Werte werden in Quadratmillimetern (mm<sup>2</sup>) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (FISkap)									
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		
Rasse	Golden Retriever	Labrador Retriever	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	Golden Retriever	Labrador Retriever	Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
FISkap1	767.19	103.65	650.21	83.99	953.92	121.96	856.25	99.33	131.83
FISkap2	784.14	76.10	656.21	57.28	925.89	130.01	802.92	79.03	103.38

Tabelle 23: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FISkap - Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (FISkap)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0000
1. Kovariable (Körpergewicht)	0.0000
2. Kovariable (Alter)	0.0382

Tabelle 24: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) und die 2. Kovariable (Alter) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (FISkap - Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula) mit Angabe des Schätzwertes in Quadratmillimetern (mm²):

Regressionskoeffizient.		Schätzwert in Quadratmillimeter (mm²)
1. Kovariable (Körpergewicht)		10.16
2. Kovariable (Alter)		4.94

Tabelle 25: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (AbstCav) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. AbstCav1 steht für den kraniokaudalen Abstand der Cavitas glenoidalis der rechten Schulter, AbstCav2 steht für den kraniokaudalen Abstand der Cavitas glenoidalis der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (AbstCav)										
Geschlecht	weiblich		weiblich		männlich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
AbstCav1	26.73	1.56	26.59	1.14	30.77	1.55	29.07	1.49	32.62	2.22
AbstCav2	27.11	1.36	26.6	1.01	30.75	2.92	29.29	1.48	32.94	1.72

Tabelle 26: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (AbstCav - kraniokaudalen Abstand der Cavitas glenoidalis) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (AbstCav)		p-Wert
Geschlecht		0.0000
Rasse		0.0000
1.Kovariable (Körpergewicht)		0.0002

Tabelle 27: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (AbstCav - kraniokaudalen Abstand der Cavitas glenoidalis) mit Angabe des Schätzwertes in Millimetern (mm):

Regressionskoeffizient		Schätzwert in Millimeter (mm)
1. Kovariable (Körpergewicht)		0.16

Tabelle 28: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (TiefCav) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. TiefCav1 steht für die Tiefe der Cavitas glenoidalis der rechten Schulter, TiefCav2 steht für die Tiefe der Cavitas glenoidalis der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (TiefCav)									
Geschlecht	weiblich		männlich		weiblich		männlich		männlich
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	Deutscher Schäferhund
TiefCav1	6.40	0.51	6.54	0.71	6.96	0.82	6.95	1.02	7.15
TiefCav2	6.37	0.96	6.47	0.69	7.10	0.80	7.10	0.95	7.33
									0.67
									7.59
									0.8
									0.90

Tabelle 29: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (TiefCav - Tiefe der Cavitas glenoidalis) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (TiefCav)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0003
Rasse	0.0011
1.Kovariable (Körpergewicht)	0.0037

Tabelle 30: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (TiefCav - Tiefe der Cavitas glenoidalis) mit Angabe des Schätzwertes in Millimetern (mm):

Regressionskoeffizient		Schätzwert in Millimeter (mm)
1. Kovarible (Körpergewicht)		0.05

Tabelle 31: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (LaengCv) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit zum Geschlecht. LaengCv1 steht für die Länge der Cavitas glenoidalis der rechten Schulter, LaengCv2 steht für die Länge der Cavitas glenoidalis der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (LaengCv)												
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		männlich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund	

Tabelle 32: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (LaengCv - Länge der Cavitas glenoidalis) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (LaengCv)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0000
1.Kovariable (Körpergewicht)	0.0000



Tabelle 36: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (AbstSul - Abstand des Sulcus intertubercularis) mit Angabe des Schätzwertes in Millimetern (mm):

Regressionskoeffizient		Schätzwert in Millimetern (mm)
1. Kovariable (Körpergewicht)		0.10

Tabelle 37: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (TiefSul) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit zum Geschlecht. TiefSul1 steht für die Tiefe des Sulcus intertubercularis der rechten Schulter, TiefSul2 steht für die Tiefe des Sulcus intertubercularis der linken Schulter. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (TiefSul)									
Geschlecht	weiblich		weiblich		männlich		männlich		
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
TiefSul1	6.74	1.16	6.77	1.18	7.52	1.33	7.42	1.27	8.30
TiefSul2	6.56	0.87	6.61	1.23	7.91	1.08	7.53	1.60	8.39

Tabelle 38: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (AbstSul - Abstand des Sulcus intertubercularis) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (TiefSul)	
	p-Wert
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0002

*Tabelle 39: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (D1/2/3/4m1) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Die Messergebnisse geben die Ergebnisse für die Messung der Dichte im Bereich des Humeruskopfes (D1m1), der Humerusepiphyse (D2m1), des subchondralen Knochens (D3m1) sowie des gelenknahen Aneils (D4m1) der rechten Schulter (D1/2/3/4m1) sowie die linke Schulter (D1/2/3/4m1) wieder. Die Werte werden in Hounsfield-Einheiten (HU) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (D1m1; D2m1; D3m1; D4m1)										
Geschlecht	weiblich		weiblich		männlich		männlich		männlich	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
D1m1	494.57	34.81	594.76	47.22	476.21	40.35	520.67	37.58	604.70	42.65
D2m1	487.35	36.37	579.38	43.76	428.93	34.47	507.81	40.54	598.84	43.63
D3m1	706.74	41.59	782.49	45.28	698.97	41.99	726.57	38.37	794.15	49.15
D4m1	669.63	79.94	766.84	68.25	592.15	78.70	643.93	43.83	749.08	57.82
D1m2	493.72	42.44	586.39	45.28	471.24	43.43	514.55	33.83	607.44	39.97
D2m2	483.15	34.23	579.83	44.89	438.54	33.83	515.15	55.60	605.15	52.74
D3m2	708.51	53.15	765.66	37.80	692.58	45.74	728.19	45.01	791.32	49.83
D4m2	667.08	68.53	761.90	63.02	572.48	70.28	650.88	81.39	756.78	52.22

*Tabelle 40: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (D1/2/3/4m1/2) mit Angabe des p-Wertes:*

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (D1m2; D2m2; D3m2; D4m2):	
	p-Werte
Rasse	0.0000
Lokalisation	0.0000
Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse	0.0018

*Tabelle 41: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (D1/2/3/4P1) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Die Messergebnisse geben die Ergebnisse für die Messung des Umfangs der Fläche im Bereich des Humeruskopfes (D1P1), der Humerusepiphyse (D2 P1), des subchondralen Knochens (D3 P1) sowie des gelenknahen Aneils (D4 P1) der rechten Schulter (D1/2/3/4P1) sowie die linke Schulter (D1/2/3/4P2) wieder. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (D1P1; D2P1; D3P1; D4P1):											
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		männlich		männlich		
Rasse	Golden Retriever	SD	Labrador Retriever	SD	Labrador Retriever	SD	Golden Retriever	SD	Labrador Retriever	SD	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
D1P1	93.20	6.49	89.34	4.63	104.68	7.14	98.07	6.01	99.48	6.99	männlich Deutscher Schäferhund
D2P1	115.85	9.48	112.84	7.66	132.36	8.48	121.33	9.81	125.48	9.28	MW
D3P1	95.01	6.67	93.05	7.78	106.35	10.16	101.06	9.24	104.75	8.31	SD
D4P1	116.76	7.40	112.04	6.66	131.48	8.02	125.66	7.55	123.18	6.59	9.56
D1P2	93.74	6.78	88.80	4.47	105.85	7.69	101.40	5.71	98.40	6.03	12.87
D2P2	116.29	8.47	111.51	5.72	132.27	10.98	121.78	9.41	123.08	9.19	13.22
D3P2	94.49	10.21	91.80	6.27	106.48	12.83	100.71	9.21	103.13	9.83	8.78
D4P2	118.64	6.23	111.14	4.28	130.39	8.19	125.41	6.54	123.16	5.75	9.65
											11.29
											11.67
											7.58

*Tabelle 42: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (D1/2/3/4P1/2) mit Angabe des p-Wertes:*

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (D1P1; D2P1; D3P1; D4P1):	
	p-Werte
Geschlecht	0.0000
Rasse	0.0000
1. Kovariable (Körpergewicht)	0.0000
Lokalisation	0.0000
Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse und dem Geschlecht	0.0000



*Tabelle 43: Regressionskoeffizient für die 1. Kovariable (Körpergewicht) im Bezug zur 1. abhängigen Variablen (D1/2/3/4P1) mit Angabe des Schätzwert in Millimetern (mm):*

Regressionskoeffizient		Schätzwert in Millimetern (mm)
1. Kovariable (Körpergewicht)		0.77

*Tabelle 44: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Gcran1, Gmed1, Gcaud1) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Die Messergebnisse geben die Ergebnisse für die Messung des kranialen (Gcran), medialen (Gmed) und kaudalen (Gcaud) Abstandes der rechten Schulter (Gcran1, Gmed1, Gcaud1) sowie der linken Schulter (Gcran2, Gmed2, Gcaud2) wieder. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:*

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Gcran1; Gmed1; Gcaud1):													
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		maennl		maennl		maennl		
	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	
Gcran1	2.90	0.94	3.33	0.99	3.51	1.44	3.01	1.07	3.65	1.20	3.93	1.27	
Gmed1	3.51	0.68	3.62	0.65	3.52	0.77	3.66	0.82	3.69	0.90	3.81	0.97	
Gcaud1	1.82	0.51	1.53	0.34	1.84	0.60	2.04	0.51	1.78	0.45	2.29	0.79	
Gcran2	2.92	0.67	3.49	1.00	3.46	1.07	3.26	0.87	3.62	0.97	3.77	1.05	
Gmed2	3.43	0.66	3.53	0.63	3.58	0.70	3.56	0.74	3.78	0.68	3.56	0.70	
Gcaud2	1.86	0.61	1.58	0.50	1.78	0.66	1.72	0.50	1.85	0.53	2.05	0.77	

Tabelle 45: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Gcran/med/caud1/2) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Gcran1; Gmed1; Gcaud1):	
	p-Wert
Lokalisation	0.0000
Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse	0.0011

Tabelle 46: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Hukcran1, Hukmed1, Hukcaud1) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Die Messergebnisse geben die Ergebnisse für die Dickenmessung der Dichtenmaxima im Bereich des Humeruskopfes kranial (Hukcran), medial (Hukmed) und kaudal (Hukcaud) der rechten Schulter (Hukcran1, Hukmed1, Hukcaud1) sowie für die linke Schulter (Hukcran2, Hukmed2, Hukcaud2) wieder. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Hukcran1; Hukmed1; Hukcaud1):												
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		maennl		maennl		maennl	
Rasse	Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund		Golden Retriever		Labrador Retriever		Deutscher Schäferhund	
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Hukcran1	2.17	0.38	2.10	0.40	2.19	0.66	2.16	0.41	2.07	0.34	2.34	0.65
Hukmed1	2.38	0.97	2.79	0.47	2.89	0.58	2.63	0.34	2.80	0.66	2.58	1.14
Hukcaud1	3.18	0.69	3.17	0.70	3.98	1.08	3.02	0.65	3.43	0.85	4.13	1.32
Hukcran2	2.24	0.43	2.00	0.31	1.94	0.63	2.39	0.54	2.09	0.48	2.03	0.72
Hukmed2	2.63	0.49	2.74	0.51	2.52	0.91	2.58	0.57	2.77	0.79	2.57	0.90
Hukcaud2	3.09	0.70	3.19	1.27	4.06	1.04	3.31	0.90	3.73	1.33	4.14	1.03

Tabelle 47: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Hukcran/med/caud1/2) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Hukcran1; Hukmed1; Hukcaud1):	
	p-Wert
Rasse	0.0011
Lokalisation	0.0000
Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse	0.0000

Tabelle 48: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) für die 1. abhängige Variable (Cavcran1, Cavmed1, Cavcaud1) bei den unterschiedlichen Rassen in Abhängigkeit vom Geschlecht. Die Messergebnisse geben die Dickenmessung der subchondralen Dichtemaxima im Bereich des gelenknahen Anteils der Skapula kranial (CavKcran), medial (Cavmed) und kaudal (Cavcaud) der rechten Schulter Cavcran1, Cavmed1, Cavcaud1) sowie für die linke Schulter (Cavcran2, Cavmed2, Cavcaud2) wieder. Die Werte werden in Millimetern (mm) wiedergegeben:

Mittelwert und Standardabweichung für die 1. abhängige Variable (Cavcran1; Cavmed1; Cavcaud1):												
Geschlecht	weiblich		weiblich		weiblich		maennl		maennl		maennl	
	Golden	Retriever	Labrador	Retriever	Deutscher	Schäferhund	Golden	Retriever	Labrador	Retriever	Deutscher	Schäferhund
	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Cavcran1	3.30	1.00	3.82	0.95	2.52	0.59	3.09	0.41	4.18	0.92	3.04	1.03
Cavmed1	2.57	0.75	2.57	0.48	2.68	0.78	2.80	0.52	2.92	0.73	2.69	0.45
Cavcaud1	2.66	0.52	3.26	0.53	3.01	0.63	2.94	0.42	3.22	0.45	3.14	0.67
Cavcran2	3.16	0.72	3.97	1.05	2.55	0.66	3.16	0.51	4.18	1.08	2.87	0.71
Cavmed2	2.69	0.47	2.79	0.49	2.62	0.48	2.58	0.48	2.97	1.13	2.90	0.56
Cavcaud2	2.80	0.66	3.21	0.56	2.73	0.66	2.81	0.56	3.32	0.59	2.97	0.62

Tabelle 49: Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Cavcran/med/caud1/2) mit Angabe des p-Wertes:

Varianzanalyse für die 1. abhängige Variable (Cavcran1; Cavmed1; Cavcaud1):	
	p-Wert
Geschlecht	0.0022
Rasse	0.0000
Lokalisation	0.0000
Lokalisation in Abhängigkeit zur Rasse	0.0000

*Tabelle 50: Wiederholungsmessungen: zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der Wiederholungsvarianzen. Mit Erfassung von Mittelwert und Standardabweichung von der Wiederholungsvarianz des Schultergelenkwinkels (vWinkelSch), Pfannenwinkels (vPfwinkel), Messung der Länge des Humeruskopfes (vLhumkop), Schultergelenkspaltweite kranial (vGcran), medial (vGmed) und kaudal (vGcaud), Flächen- (vFIHumkop) und Dichtemessung des Humeruskopfes (vD1m) sowie des Umfangs der Fläche des Humeruskopfes (vD1P), Flächen- (vFIHmfug) und Dichtemessung des Humerusepiphyse (vD2m) sowie des Umfangs der Fläche der Humerusepiphyse (vD2P), Flächen- (vFlsubch) und Dichtemessung des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (vD3m) sowie des Umfangs der Fläche des subchondralen Knochens des Humeruskopfes (vD3P), Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens am Humeruskopf kranial (vHukcran), medial (vHukmed) und kaudal (vHukcaud), Dickenmessung von Dichtemaxima des subchondralen Knochens der Cavitas glenoidalis kranial (vCavcran), medial (vCavmed) und kaudal (vCavkaud), Flächen- (vFISkap) und Dichtemessung des gelenknahen Anteils der Skapula (vD4m) sowie des Umfangs der Fläche des gelenknahen Anteils der Skapula (vD4P), kraniokaudaler Abstand (vAbstCav), Tiefe (vTiefCav) und Länge der Cavitas glenoidalis (vLaengCv), Tiefe (vTiefSul) und Abstand des Sulcus intertubercularis (vAbstSul). Mit Angabe in Grad (°), Millimeter (mm), Hounsfield-Einheiten (HU), Quadratmillimetern (mm²):*

Wiederholungszvarianzen	Mittelwert	Standardabweichung
vWinkelSch	4.79°	2.19°
vPfwinkel	4.01°	2.00°
vLhumkop	9.45 mm	3.07 mm
vGcran	0.11 mm	0.34 mm
vGmed	0.15 mm	0.39 mm
vGcaud	0.28 mm	0.53 mm
vFIHumkop	1031.20 mm <sup>2</sup>	32.11 mm <sup>2</sup>
vD1m	202.77 HU	14.24 HU
vD1P	10.35 mm	3.22 mm
vFIHmfug	1682.60 mm <sup>2</sup>	41.02 mm <sup>2</sup>
vD2m	1232.40 HU	35.11 HU
vD2P	17.50 mm	4.18 mm
vFlsubch	1545.10 mm <sup>2</sup>	39.31 mm <sup>2</sup>
vD3m	1256.50 HU	35.45 HU
vD3P	36.44 mm	6.04 mm
vHukcran	0.60 mm	0.77 mm
vHukmed	0.17 mm	0.41 mm

## Anhang

---

vHukcaud	0.14 mm	0.37 mm
vCavcran	0.20 mm	0.44 mm
vCavmed	0.17 mm	0.41 mm
vCavcaud	0.28 mm	0.53 mm
vFISkap	2946.60 mm <sup>2</sup>	54.28 mm <sup>2</sup>
vD4m	1424 HU	37.74 HU
vD4P	16.40 mm	4.05 mm
vAbstCav	0.55 mm	0.74 mm
vTiefCav	0.23 mm	0.48 mm
vLaengCv	2.53 mm	1.59 mm
vAbstSul	1.81 mm	1.35 mm
vTiefSul	0.66 mm	0.81 mm

## Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei allen, die mich bei der Erstellung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein erster Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer für die Überlassung des Themas und die freundliche, hilfsbereite Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Besonders möchte ich mich auch bei Herrn Dr. Failing und Frau Sparenberg für die statistische Bearbeitung und die Hilfe bei der Interpretation der Ergebnisse bedanken.

Herzlicher Dank an dieser Stelle an alle Züchter und Besitzer der Hunde, durch deren Zusammenarbeit diese Studie überhaupt erst möglich war.

Besonderer Dank gebührt Dr. Kerstin Amort, einer ganz besonderen Freundin und wertvollen Lektorin, die mir mit viel Zeitaufwand Tag und Nacht in ihrer lieben Art stets fachlich und freundschaftlich zur Seite stand und mich stets aufgebaut hat. Tausend Dank! Ich stehe für immer in Deiner Schuld!

Auch möchte ich mich ganz herzlich bei der gesamten Bildgebung, wie auch ehemaligen Mitarbeitern bedanken, allen voran Herrn Dr. Tellhelm sowie Frau Dr. Antje Wigger und Dr. Stephan Klumpp.

Ebenso ganz herzlich möchte ich mich bei Dr. Charlotte Günther für Ihre genialen Ratschläge und Korrekturen bedanken.

Ganz besonderen Dank möchte ich hiermit zwei wahren Schätzen der Röntgenabteilung zukommen lassen: Gaby Weber und Holger Wißmann, die mir immer tatkräftig zur Seite standen.

Ganz besonderen Menschen, die mir stets mit Rat und Tat (sowie technischer Unterstützung) zur Seite standen möchte ich hier danken: Meike Fehrlage, Ella Wenz, Dr. Ines Lautenschläger, Agnes Driesen und Stanka Mihaylova, ich kann mich glücklich schätzen, Euch zu Freunden zu haben!

Ganz herzlicher Dank gilt einem ganz großen Schatz: Joachim Pfeiffer. Danke für Deine Unterstützung vor allem technischer Natur.

Meiner Mutter, Sybille Michalik möchte ich ganz herzlich danken, die mir das Studium überhaupt erst ermöglicht hat und alle die Jahre immer für mich da war, danke.

Ganz besonderer Dank gebührt Herrn B.sc. Marcel Härter, der mich all die Jahre egal zu welcher Tageszeit unterstützte, aufbaute und stets Verständnis zeigte, kurz immer für mich da war, ich danke Dir von Herzen!

## **Erklärung**

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, so wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Judith Michalik





*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

VVB LAUFERSWEILER VERLAG  
STAUFENBERGRING 15  
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
redaktion@doktorverlag.de  
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5904-0



9 1783835 11959040

Cover Photos: © Callaloo Alexis (hinten); © Viorel Sima (vorne) - Fotolia.com